



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

## **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**

**Vivian Noemí Velásquez Castillo**

Asesorado por el Ing. Vinicio Humberto Mérida Alegría

Guatemala, noviembre de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS  
DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**VIVIAN NOEMÍ VELÁSQUEZ CASTILLO**

ASESORADO POR EL ING. VINICIO HUMBERTO MÉRIDA ALEGRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Selvin Estuardo Joaquín Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

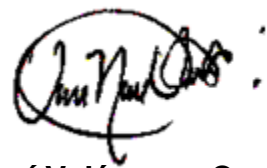


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 25 de octubre de 2019.



**Vivian Noemí Velásquez Castillo**

Guatemala, 06 de febrero 2020

Ingeniero:

**CESAR ERNESTO URQUIZU RODAS**

Director de Escuela

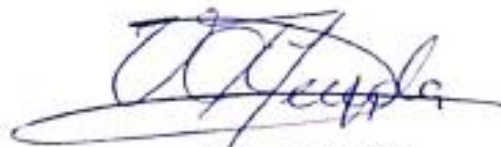
Ingeniería Mecánica Industrial

Ingeniero Urquizu:

Luego de un cordial saludo, se les informa que **Vivian Noemi Velásquez Castillo**, **carné No. 2003-20557**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, realizó su trabajo de graduación, enfocado en Estudio de Factibilidad para Mejora Tecnológica en Equipos de Refrigeración en una Industria de Supermercados, siendo esta revisada y aprobada por mi persona.

Sin más que agregarle, me suscribo

Atentamente,



Vinicio Mérida

Ing. Mecánico Industrial

Colegiado 13985

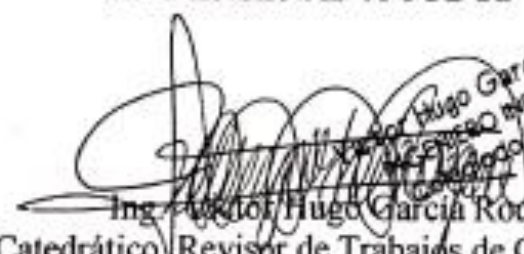




REF.REV.EMI.040.020

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**, presentado por la estudiante universitaria Vivian Noemi Velasquez Castillo, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Víctor Hugo García Roque  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ing. Víctor Hugo García Roque  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
No. 5133

Guatemala, marzo de 2020.

/mgp





ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.085.020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**, presentado por la estudiante universitaria **Vivian Noemi Velasquez Castillo**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. César Ernesto Urquizú Rodas**  
**DIRECTOR**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**



Guatemala, noviembre de 2020.

/mgp

DTG. 308.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MEJORA TECNOLÓGICA EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE SUPERMERCADOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Vivian Noemí Velásquez Castillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por brindarme la fuerza, la sabiduría y salud en su infinita gracia y misericordia, para culminar esta etapa de mi vida.

### **Mis padres**

Jaime Orlando Velásquez Rojo (q. e. p. d.) y Marta Nidia Castillo, por su apoyo, esfuerzo e infinito amor. Son el ejemplo y los pilares en mi vida.

### **Mi hermano**

Quien me ha enseñado el significado de la nobleza, por acompañarme en cada paso de mi vida y enseñarme el verdadero amor.

### **Mi asesor**

Vinicio Mérida, por ser un gran amigo que me alentó y apoyó para finalizar esta etapa profesional.

### **Mis amigos**

Galia Méndez y Luis Fernando García quienes me han apoyado incondicionalmente y demostrado su cariño. Gerardo Quevedo quien me ha apoyado en esta trayectoria, me ha alentado, brindado todo su cariño, paciencia y apoyo. Blanca Xiloj, quien a pesar de las adversidades siempre está a mi lado. Agradezco a Dios por haberlos conocido.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi segundo hogar, donde crecí a nivel profesional y personal.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Donde aprendí todo sobre mi carrera.
<b>Mi familia</b>	Tíos, tías y mi primo David Ramos quienes siempre están presentes a pesar de las adversidades.
<b>Amigo</b>	Ricardo Barraza, quien me ha apoyado en muchos aspectos, ha confiado en mí y me ha alentado.





## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Sistema de refrigeración.....	1
1.2. Ciclo de refrigeración.....	2
1.2.1. Diagrama entropía - entalpía .....	2
1.3. Refrigeración por compresión.....	5
1.4. Máquinas que aplican a la refrigeración por compresión .....	5
1.4.1. Equipos de refrigeración .....	5
1.4.2. Refrigeradores .....	6
1.4.3. Cámaras frigoríficas.....	6
1.5. Compresores en el sistema de refrigeración .....	6
1.5.1. Compresores de alta temperatura .....	8
1.5.2. Compresores de baja temperatura .....	8
1.6. Componentes internos de un compresor de refrigeración .....	8
1.6.1. Sistema de admisión .....	9
1.6.2. Mecanismo .....	9
1.6.3. Sistema de expulsión.....	10
1.6.4. Motor de arranque .....	10
1.6.5. Tablero de control.....	10

1.7.	Análisis financiero .....	11
1.7.1.	Costo de mantenimiento.....	12
1.7.2.	Costo de capital.....	13
1.7.3.	Valor del dinero en el tiempo.....	14
1.7.4.	Interés simple y compuesto.....	15
2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ACTUAL.....	17
2.1.	Diagrama del sistema de refrigeración.....	17
2.2.	Compresor recíprocante.....	18
2.2.1.	Componentes y accesorios .....	20
2.3.	Condensador.....	23
2.4.	Válvula de expansión .....	24
2.5.	Evaporador.....	25
2.6.	Tuberías .....	25
2.7.	Conexiones y accesorios .....	27
2.8.	Mantenimiento.....	27
2.8.1.	Preventivo .....	28
2.8.1.1.	Energía eléctrica .....	30
2.8.1.2.	Lubricación .....	31
2.8.1.3.	Refrigerante.....	31
2.8.2.	Mantenimiento correctivo .....	33
3.	ESTUDIO TÉCNICO .....	35
3.1.	Capacidad frigorífica del sistema .....	35
3.1.1.	Función de la cámara fría.....	35
3.1.2.	Dimensiones de la cámara fría.....	36
3.1.3.	Cálculo de la carga térmica de la cámara frigorífica.....	37
3.2.	Características de los equipos seleccionados.....	42

3.2.1.	Costos compresor de refrigeración.....	42
3.2.2.	Cálculo de capacidad del compresor.....	43
3.2.3.	Consumos energéticos actuales vs los propuestos.....	44
3.2.4.	Selección del equipo compresor.....	46
3.3.	Montaje de equipo compresor .....	47
3.3.1.	Carga sobre el suelo.....	47
3.3.2.	Vibración.....	50
3.3.3.	Cimentación y anclaje.....	50
3.3.4.	Instalación eléctrica .....	52
3.4.	Mantenimiento preventivo.....	53
3.4.1.	Lubricación .....	55
3.4.2.	Refrigerante .....	56
4.	ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	57
4.1.	Estudio económico .....	57
4.1.1.	Costo del sistema de refrigeración actual.....	57
4.1.1.1.	Mano de obra.....	57
4.1.1.2.	Cambio de tuberías .....	59
4.1.1.3.	Accesorios .....	60
4.1.1.4.	Energía eléctrica.....	61
4.1.1.5.	Mantenimiento .....	61
4.1.1.6.	Insumos varios.....	62
4.1.1.7.	Refrigerante .....	63
4.1.1.8.	Costo total.....	64
4.1.2.	Costo sistema de refrigeración propuesto .....	65
4.1.2.1.	Mano de obra.....	65
4.1.2.2.	Tuberías .....	66
4.1.2.3.	Accesorios .....	66

4.1.2.4.	Energía eléctrica .....	67
4.1.2.5.	Mantenimiento .....	67
4.1.2.6.	Insumos varios .....	69
4.1.2.7.	Refrigerante.....	69
4.1.2.8.	Costo total .....	70
4.1.3.	Análisis de costos.....	71
4.1.4.	Financiamiento del proyecto.....	72
4.2.	Estudio financiero.....	72
4.2.1.	Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR) .....	72
4.3.	Métodos de evaluación .....	73
4.3.1.	Valor presente neto (VPN) .....	73
4.3.2.	Tasa interna de retorno (TIR) .....	75
4.3.3.	Tiempo de recuperación de la inversión.....	76
4.4.	Análisis de resultados .....	77
5.	IMPACTO AMBIENTAL .....	79
5.1.	Contaminación por lubricantes.....	79
5.1.1.	Almacenamiento.....	80
5.1.2.	Manejo correcto de los lubricantes.....	81
5.2.	Análisis de contaminación del refrigerante.....	82
5.2.1.	Regulación y manejo.....	83
5.2.2.	Propiedades físicas .....	85
5.2.3.	Temperatura de saturación .....	86
5.2.4.	Toxicidad .....	87
5.2.5.	Almacenamiento.....	87
5.2.6.	Recuperación .....	89
5.2.7.	Reciclaje de refrigerante.....	90
5.2.8.	Identificación de impactos .....	91
5.3.	Contaminación auditiva .....	93

5.4.	Medidas de prevención y mitigación.....	95
CONCLUSIONES .....		97
RECOMENDACIONES.....		99
BIBLIOGRAFÍA.....		101
APÉNDICES .....		103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama entropía.....	3
2.	Diagrama Entalpía.....	4
3.	Diagrama de ciclo de refrigeración.....	18
4.	Compresor reciprocante.....	20
5.	Características externas compresores recíprocos.....	22
6.	Descripción de condensador enfriado por aire.....	23
7.	Instalación de un sistema de refrigeración .....	26
8.	Posición paredes de cámara fría.....	37
9.	Gráfico consumo diario energético.....	45
10.	Plan de mantenimiento.....	68
11.	Gráfica flujo de efectivo.....	74
12.	Ponderaciones de los daños .....	93
13.	Decibelímetros utilizados .....	95

### TABLAS

I.	Lista de revisión de mantenimiento preventivo actual .....	29
II.	Característica del refrigerante actual.....	33
III.	Medidas cámara fría.....	38
IV.	Valores de calor generado por persona .....	39
V.	Costo de compresores .....	43
VI.	Consumo diario energético de compresores en kW/h.....	44
VII.	Porcentaje de ahorro energético de cada compresor.....	46

VIII.	Cuadro comparativo de compresores .....	46
IX.	Peso de líquidos .....	48
X.	Capacidad de carga de materiales .....	48
XI.	Posibles problemas en un sistema de refrigeración por compresión ....	53
XII.	Sueldos.....	58
XIII.	Mano de obra directa e indirecta.....	58
XIV.	Precio tubería .....	59
XV.	Costo energía eléctrica del sistema actual .....	61
XVI.	Costo de mantenimiento correctivo anual.....	62
XVII.	Costo actual insumos varios .....	63
XVIII.	Costo de carga de refrigerante .....	64
XIX.	Costo total del sistema actual .....	64
XX.	Precio tubería .....	66
XXI.	Costo energía eléctrica del sistema actual .....	67
XXII.	Costo por mantenimiento preventivo .....	68
XXIII.	Costo propuesto insumos varios.....	69
XXIV.	Costo refrigerante propuesto .....	70
XXV.	Costo total del sistema propuesto.....	70
XXVI.	Análisis comparativo de costos anuales .....	71
XXVII.	Flujo de efectivo.....	74
XXVIII.	Resultados financieros.....	77
XXIX.	Tabla de refrigerantes prohibidos en Guatemala .....	83
XXX.	Propiedades físicas del refrigerante R404a .....	86
XXXI.	Toxicidad refrigerante 404a .....	87
XXXII.	Colores de los contenedores de refrigerantes .....	90
XXXIII.	Plan de contingencia.....	92
XXXIV.	Comparativo de impactos en refrigerantes .....	93
XXXV.	Comparación auditiva .....	94
XXXVI.	Medidas ambientales .....	96



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de potencia
(Q)	Calor
kPa	Kilo pascales
$\geq$	Mayor o igual que
$\leq$	Menor o igual que
$>$	Mayor que
$<$	Menor que
rpm	Revoluciones por minuto
W	Watts



## **GLOSARIO**

<b>Adiabático</b>	No intercambia calor.
<b>Dieléctrico</b>	Aislante o mal conductor de calor y electricidad.
<b>Entalpía</b>	Cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
<b>Entropía</b>	Energía constante, desorden molecular.
<b>Isentálpico</b>	Entalpía constante.
<b>Isentrópico</b>	Entropía constante, adiabático reversible.
<b>Isotérmico</b>	Temperatura constante.
<b>Miscibilidad</b>	Líquido que puede mezclarse.
<b>Tasa</b>	Tributo que recibe en beneficio un contribuyente.



## **RESUMEN**

Actualmente en los puntos de venta se cuenta con un sistema de refrigeración que tiene equipos compresores antiguos y con un sistema energético ineficiente. Esto implica un costo elevado de mantenimiento correctivo y gasto en energía eléctrica. Por ello es necesario evaluar la factibilidad de adquisición de equipos de compresión que permitan un ahorro significativo.

Para ello se realizará un estudio donde se incluirán los costos previstos y actuales, análisis de beneficios y recuperación de la inversión; así mismo, se conocerá la situación actual de los sistemas de refrigeración, para determinar qué opción se adecua a las necesidades de la compañía.

De esta manera, se establece la opción factible entre los equipos de compresión, el tiempo de recuperación de la inversión y el impacto ambiental del sistema propuesto.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar un estudio de factibilidad para determinar la viabilidad de cambiar la tecnología en los equipos de refrigeración en una industria de supermercados.

### **Específicos**

1. Establecer la capacidad del compresor según la temperatura de la cámara frigorífica.
2. Determinar la mejor opción de compresores, según especificaciones y características de trabajo.
3. Establecer el correcto montaje del equipo compresor, según la cantidad de vibración y carga generada.
4. Definir los costos generados por el cambio del sistema de refrigeración en el proyecto y su financiamiento.
5. Analizar la rentabilidad del cambio de compresores, a través del cálculo del Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

6. Considerar el impacto ambiental producido por los refrigerantes utilizados en los sistemas de refrigeración.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la cadena de suministros tiene uno de los principales movimientos de la economía del país, incluyendo los productos refrigerados y congelados que forman parte de la participación en las cadenas de abastecimiento masivo. Destaca la conservación de la cadena de frío, que es importante para la correcta conservación de los alimentos.

El producto frío y congelado son perecederos, por lo que deben contar con los equipos de generación y conservación de temperatura adecuados, para poder ofrecer productos de calidad. Por ello, los equipos de los sistemas de refrigeración en las cámaras frías y congeladas, deben contar con las características necesarias para un adecuado funcionamiento.

El sistema de refrigeración en los supermercados debe contar con equipo óptimo, que sea adecuado, moderno y ofrezca una mejor rentabilidad en su operación. Por ésta razón, se realizará un estudio que permita una mejora tecnológica factible, que genere una mejor eficiencia energética en comparación con los equipos actualmente instalados. Este estudio se enfocará en la eficiencia energética y los equipos adecuados del sistema de refrigeración, principalmente en los compresores que se encuentran en los puntos de venta, con la finalidad de aportar una propuesta documentada y científica para mejorar la tecnología en los equipos de refrigeración de la cadena de suministros.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Sistema de refrigeración**

Llamado también circuito de refrigeración, consiste en un sistema de enfriamiento basado en los principios termodinámicos. Es utilizado para conservar la temperatura en motores automovilísticos e industriales, mantener las temperaturas en ambientes habitacionales o, como en la industria alimenticia, mantener los alimentos fríos en los almacenes de productos perecederos. La refrigeración para el caso de los productos alimenticios, evita el crecimiento bacteriológico que se desarrolla a temperatura ambiente.

El sistema de refrigeración o circuito de refrigeración trabaja mediante transferencia de energía térmica entre dos puntos; desplaza la energía de un punto A hacia un punto B, para obtener así una menor temperatura en el punto A. Estos sistemas, no cuentan con un sistema estándar para todas las líneas de trabajo, ya que funcionan según la aplicación y tipo de fluido.

Existen dos tipos de sistemas de refrigeración: uno comprende un sistema mecánico a través de equipos compresores, que se emplea en neveras industriales y domésticas; el segundo sistema mecánico es por absorción y es utilizado en los equipos de aire acondicionado que funcionan por medio de transferencia de calor.

## **1.2. Ciclo de refrigeración**

Uno de los sistemas mayormente utilizados es el ciclo de refrigeración por compresión, que consiste en emplear trabajo mecánico para comprimir un fluido en un circuito cerrado con la finalidad que este fluido pueda absorber el calor en un lugar y lo expulse en otro.

Cengel & Boles indican que el ciclo de refrigeración de Carnot, llamado así por el ingeniero francés Sadi Carnot, corresponde al ciclo de la máquina térmica reversible. Lo nombraron Ciclo de Carnot Inverso o Ciclo de Carnot Invertido.

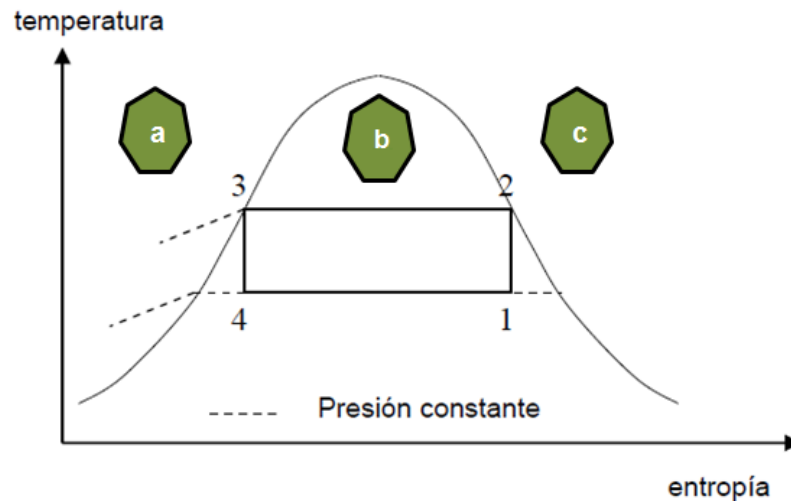
### **1.2.1. Diagrama entropía - entalpía**

El diagrama temperatura entropía representa el Ciclo de Carnot, donde se aprecia el trabajo que se debe realizar para obtener el resultado frigorífico. Este diagrama, compone 4 procesos reversibles.

Tal como se observa en la figura 1, los procesos se ejecutan en la Campana de Gauss, dividido en tres partes fundamentales:

- Líquido comprimido (a).
- Vapor húmedo (mezcla de líquido y vapor) (b).
- Vapor sobrecalentado (c).

Figura 1. Diagrama entropía



Fuente: Martínez, Inmaculada. *Análisis de la información técnica en equipos de climatización*.

<http://proyectos/abreproy/4049/fichero/2.+FUNDAMENTOS+TEÓRICOS.pdf>.

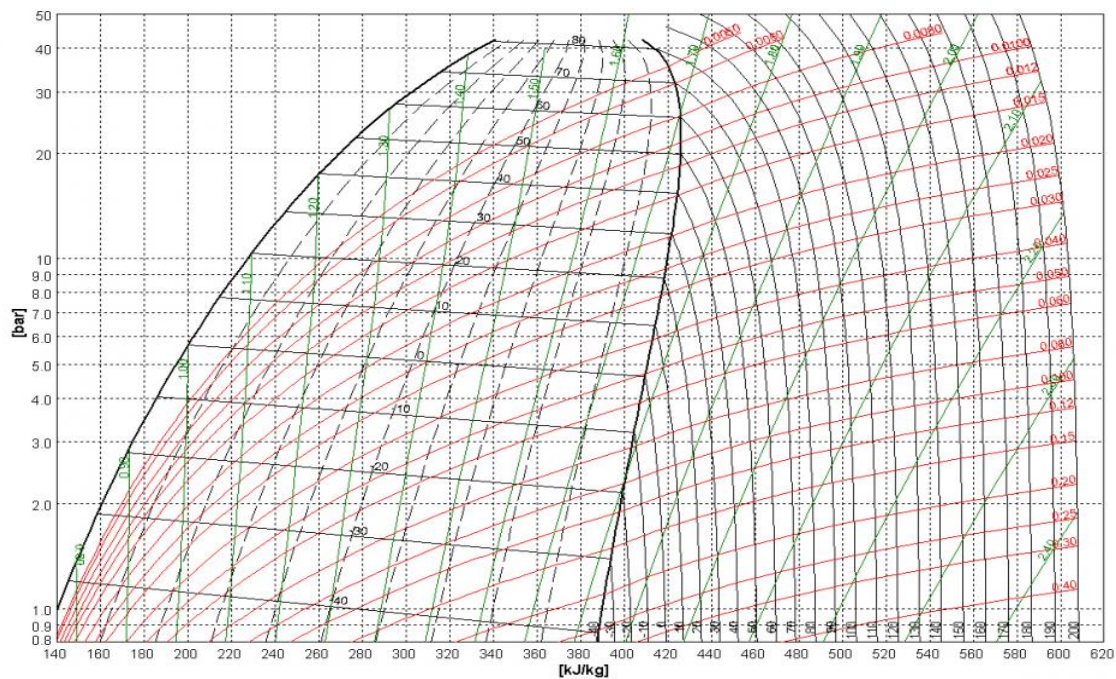
Consulta: 4 de noviembre de 2019.

Así mismo, en la figura 1 se observa que en las estaciones 3-4 se produce un cambio de energía tanto cinética como potencial. No se produce cambios caloríficos; este es un proceso isoentálpico irreversible. En las estaciones 1-2 se observa que se lleva a cabo dentro del vapor húmedo; sin embargo, en los procesos reales esto no debe ser posible, ya que el lubricante húmedo daña el compresor y contribuye al rápido desgaste del mismo.

En la figura 2 el diagrama está representado por la presión y entalpía. Esta última es la adición de la energía que es suministrada por una materia, o bien, es la cantidad de calor absorbido o expulsado de un sistema. En los sistemas de refrigeración, esta cantidad de calor o de energía suministrada al sistema, el diagrama de presión entalpía, permite una fácil verificación de estos cambios.

Es importante tomar en consideración que la presión de este sistema únicamente es aplicada en el evaporador y condensador.

Figura 2. **Diagrama entalpía**



Fuente: AVELINO, Santiago. *Diagrama de Mollier*.

<https://www.slideshare.net/AvelinoSantiago/diagrama-demollier-90130569>.

Consulta: 4 de noviembre de 2019.

En la figura 2, las líneas horizontales representan la presión constante; las líneas verticales, la entalpía o cantidad de calor constante. Dicho esto, el diagrama de presión entalpía representa los cambios que tiene el refrigerante en el ciclo termodinámico.

### **1.3. Refrigeración por compresión**

El ciclo de refrigeración por compresión funciona con cuatro importantes elementos: válvula de expansión, evaporador, compresor y condensador. El objetivo de la refrigeración por compresión es absorber calor en algún punto del sistema y sacar calor en otro punto, mediante el esfuerzo mecánico producido por un fluido en un circuito cerrado.

El fluido comprimido llamado refrigerante ingresa en el compresor en su estado gaseoso (vapor) y sale con una temperatura y presión mayor. Esta a su vez, pasa por el condensador, enfría el fluido, expulsa el calor al medio circundante y continúa por la válvula de expansión. Provoca un drástico descenso de la presión y temperatura, para finalmente ingresar por el evaporador y envía el fluido en el estado gaseoso inicial hacia el compresor, donde se iniciará nuevamente el ciclo.

### **1.4. Máquinas que aplican a la refrigeración por compresión**

Como se observó anteriormente, la refrigeración por compresión resulta de evaporar un refrigerante en su estado líquido. Al realizar un intercambio de calor con la carga térmica (calor en el medio ambiente), el compresor aumentará la presión para que este pueda ser condensado.

#### **1.4.1. Equipos de refrigeración**

Son todas aquellas máquinas de funcionamiento térmico, cuya función será la de absorber la energía calorífica de un punto en específico y expulsar esta misma en otro punto.

Estos equipos pueden ser diseñados según las especificaciones necesarias para su funcionamiento, ya sea en función de temperaturas, tipo de instalaciones, tamaño, entre otros.

#### **1.4.2. Refrigeradores**

Son utilizados mayormente de forma doméstica, para la conservación de los alimentos. El principio de funcionamiento es de un ciclo constante, donde se comprime el refrigerante aumentando la temperatura. Al pasar por el serpentín colocado en la parte posterior del refrigerador, genera condensación y pasa por la válvula de expansión a una presión mayor.

#### **1.4.3. Cámaras frigoríficas**

Al igual que el refrigerador, las cámaras frigoríficas son espacios aislados térmicamente y son utilizadas por lo general en el almacenamiento de alimentos; en estas cámaras se extrae la energía térmica a través de un sistema de refrigeración.

El principio de funcionamiento no se basa en enfriar el espacio. Como se mencionó, se basa en la extracción calorífica del espacio a través del sistema de refrigerado. Se instalan evaporadores en el interior del espacio aislado, se absorbe el calor mediante el refrigerante, que se transforma en estado gaseoso.

### **1.5. Compresores en el sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración por compresión, como se dijo, es el método más utilizado. Por eso, que el compresor es el dispositivo más importante en estos sistemas.



Su objetivo es comprimir el gas refrigerante, incrementar su presión e iniciar la circulación del gas refrigerante, para repetir el proceso de manera cíclica. Los sistemas de refrigeración presentan dos tipos de motores, denominados compresores de alta y baja temperatura, que veremos a continuación. Dentro de las ventajas de utilizar compresores en los sistemas de refrigeración están:

- Son fácilmente adaptables al espacio donde se requiere instalar.
- Permiten realizar modificaciones de la temperatura de los espacios que se necesitan.
- Permite la correcta conservación de los alimentos y medicamentos que necesiten ser refrigerados.
- Permite adaptar la temperatura del ambiente circundante.

Dentro de las desventajas están:

- Únicamente pueden ser utilizados para los ciclos de refrigeración.
- Trabajan bajo la dependencia de los refrigerantes.
- Son inamovibles.

### **1.5.1. Compresores de alta temperatura**

Son utilizados para los sistemas de aire acondicionado y refrigeradores. Utilizan refrigerantes más viscosos, generan más potencia eléctrica debido a que la compresión que se realiza es menor y pueden trabajar en rangos de temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la evaporación del refrigerante. Pueden llegar a alcanzar hasta los  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Son los que comúnmente se utilizan para enfriar verduras, frutas, carnes frescas, lácteos, entre otros. Estos compresores pueden utilizarse en baja temperatura, para hacer eficiente su utilidad.

### **1.5.2. Compresores de baja temperatura**

Son utilizados para los sistemas de congelación. Pueden trabajar en rangos de temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  con refrigerantes más comerciales en el mercado, como por ejemplo, R22a y R404a; para este caso, si un compresor de baja temperatura es instalado en un sistema de aire acondicionado, refrigerador o temperatura alta, producirá un desgaste en las válvulas del compresor, ocasionará una depreciación prematura o bien un sobrecalentado que daña de manera permanente el compresor.

## **1.6. Componentes internos de un compresor de refrigeración**

Para que los compresores funcionen correctamente en un sistema de refrigeración, debe llevar una serie de componentes indispensables para que funcione correctamente.

### **1.6.1. Sistema de admisión**

Tiene un conjunto de elementos que proveen aire limpio en un motor, atrapan las impurezas o residuos intolerables como las partículas de polvo, a través de un filtro. En un compresor, el sistema de admisión permite que el fluido enviado desde el evaporador ingrese con las características necesarias para su buen funcionamiento.

### **1.6.2. Mecanismo**

Está conformado por varios elementos, entre ellos:

- La carcasa, que es el soporte de todos los componentes que conforman el compresor. Debe contar con dureza superficial.
- Cabezal, donde se encuentra los pistones que comprimen el fluido refrigerante.
- Cilindro, que se une a la biela por medio de un tornillo grande llamado bulón.
- Biela, que permite el movimiento del pistón a través del cilindro.
- Cigüeñal o eje donde van ajustadas las bielas, destinada a la transformación del movimiento rotacional a movimiento lineal y contrariamente.
- Manómetros o aparato de medición de la presión del fluido refrigerante.

### **1.6.3. Sistema de expulsión**

Comprende la llamada Válvula de Descarga, ubicada dentro del compresor y su función es enviar el fluido refrigerante ya comprimido, hacia el condensador, evitando que regrese al compresor. Los platos de la válvula de descarga, se encuentran en la parte superior del compresor y contienen la válvula del mismo nombre, es importante verificar que los platos de la válvula de descarga, no se encuentren dañadas, ya que esto también puede generar el retorno del fluido refrigerante.

### **1.6.4. Motor de arranque**

El motor de arranque del compresor o motor de accionamiento, está constituido por el capacitor de arranque, que va conectado directamente al encendido y al interruptor. Es el responsable de hacer girar el rotor del compresor. Cuando el motor alcanza la velocidad deseada para el correcto funcionamiento del sistema, la corriente almacenada en la bobina del motor será la más alta; permite que se desconecte la bobina de arranque y el sistema empiece a funcionar con normalidad. El motor en los compresores para los sistemas de refrigeración es trifásico, se encuentra en el interior de la carcasa y no pueden desarmarse, ya que el compresor es sellado.

### **1.6.5. Tablero de control**

Puede estar conformado por contactores, breaker y acoples, armados eléctricamente. El arranque puede configurarse de manera manual o automática. Uno de los funcionamientos que podemos encontrar en los tableros de control es nivelar el lubricante del sistema de manera eléctrica.

Otra de sus funciones es que se puede controlar a través de ellos alguna caída de voltaje. También se puede tener un mejor control del evaporador, apagar los equipos en caso de emergencia y regular la temperatura a través de dichos tableros.

### **1.7. Análisis financiero**

Es el proceso mediante el cual se estudia las variables financieras tomadas en cuenta en la investigación y se determina el impacto que las mismas tendrán en el corto, mediano y largo plazo. Para este análisis se debe considerar los presupuestos, variables macroeconómicas, retornos de inversión, entre otros. Se utiliza como base para la toma de decisiones, la asignación de recursos y fuentes de financiamiento.

Se deben considerar conceptos cuantitativos tales como:

- Rentabilidad: donde se analizarán los costos, ingresos y se determinará, con base en proyecciones, la ganancia obtenida.
- Liquidez: que brindará la información de la capacidad de sufragar deudas producidas por el proyecto en el corto plazo.
- Solvencia: al igual que la liquidez, con esta se verá la capacidad de cubrir las deudas pero a largo plazo, tales como las fuentes de financiamiento.

Con estos tres conceptos podremos determinar el desempeño de los planes de acción, la fortaleza y debilidad financiera de la organización, verificar la salud financiera y analizar cómo se desempeña actualmente, todo esto por medio de datos históricos si los hay, índices financieros, entre otros.

Dentro de los conceptos cualitativos se toman en cuenta factores externos que pueden afectar o beneficiar la viabilidad del proyecto. Entre estos podemos nombrar:

- Situación económica del país.
- Políticas y aspectos legales que puedan afectar el costo de inversión.
- Organización interna de la empresa.
- Competencias.
- Logística y canales de distribución, entre otros.

#### **1.7.1. Costo de mantenimiento**

Representa la salida del flujo de efectivo por motivos de reparaciones, asegura el correcto funcionamiento de los equipos o maquinaria. Puede llegar a elevar los costos del proyecto si no son considerados, ya que siempre deben ser tomados como parte de la inversión.

Una correcta planificación de los costos puede contribuir a la reducción de los mismos mediante un programa adecuado de mantenimiento preventivo, que evitará o reducirá los mantenimientos correctivos innecesarios. Debemos considerar cuatro tipos de costos de mantenimiento, tales como:

- Costo por tiempos muertos: son todos aquellos que se incurren por tener los equipos o maquinaria sin funcionar. Incluye pérdidas de la producción, demoras en entregas, entre otros.
- Costos administrativos: es el personal de apoyo que participa indirectamente del área operativa, como el área de compras, recursos humanos, entre otros.

- Costos directos: incluye reparaciones, contrataciones de personal técnico, supervisión y todo aquello que está directamente relacionado con el área operativa.
- Costos indirectos: entre estos está el costo por almacenamiento de repuestos. Se puede vincular con el proceso aunque no tiene un porcentaje de participación continua en la operación.

### **1.7.2. Costo de capital**

Se le denomina costo de capital o coste de capital al costo por financiamiento del proyecto, con recursos propios disponibles. Incluye la tasa de rendimiento que se espera obtener del financiamiento; dicho en otras palabras, es el porcentaje de retribución por realizar la inversión. Para alcanzar la retribución esperada, se debe hacer revisiones continuas del costo beneficio, detectar oportunidades dentro de la organización, incluso dentro del plan de trabajo. Dentro de sus características podemos mencionar:

- Si la inversión es de mayor riesgo, la retribución debe ser igualmente mayor.
- Puede presentarse dificultad en su cálculo, ya que las tasas deben ser consensuadas.
- Si el presupuesto es propio, la tasa del costo de capital será la misma que la del costo de oportunidad.

### **1.7.3. Valor del dinero en el tiempo**

Para abordar este tema, debemos tener claro el concepto del dinero. Este no es más que el elemento que forma parte del poder adquisitivo y nos permite realizar la compra de bienes o servicios. Debemos tomar en cuenta que el valor del dinero cambia en el tiempo y se reduce conforme pasa más tiempo. Esto se puede analizar, por ejemplo, en la compra de un bien inmueble, cuando se establece un precio distinto en el año presente distinto al del año anterior. Esto se debe a que se tiene que generar una rentabilidad que sea mayor a la inflación.

Existe una diferencia entre la rentabilidad mencionada y la tasa de inflación, conocida como renta del dinero; por ello, el dinero está relacionado directamente con la tasa de inflación y el costo de oportunidad.

- Costo de oportunidad: se define como el costo que se genera al invertir una determinada cantidad de dinero, cuando este puede ser utilizado para invertirlo en otras actividades o hacer crecer algún ahorro.
- Inflación: se define al momento de verificar que los precios en el mercado han sido incrementados; esto, como resultado, devalúa el valor del dinero. Ver varios tipos de inflación nos ayudará a comprender mejor su funcionamiento.
  - Inflación de la demanda: los precios aumentan debido a que el sector productivo del país no tiene las condiciones de adaptabilidad a la oferta.
  - Hiperinflación: esta alcanza niveles altísimos de los precios, superan la inversión del país, provocan crisis económicas serias.



- Inflación auto construida: en esta se pronostica futuro aumento de precios, lo cual genera que los sectores productores se anticipen.
- Inflación moderada: el alza de los precios se presenta de manera paulatina y constante.
- Inflación de costos: cuando los productores presentan aumento en los elementos de transformación de la materia prima en un bien final.

#### **1.7.4. Interés simple y compuesto**

El interés es la rentabilidad obtenida a través de un ahorro o de una inversión. También puede ser el costo obtenido de un préstamo o hipoteca; dicho en otras palabras, es el dinero que obtendremos o debemos pagar en proyectos de inversión o de ahorro. Ahora bien, la tasa de interés representa el valor que tiene el dinero en el mercado. Esto quiere decir que si la tasa de interés se incrementa, disminuyen los préstamos, fuentes de financiamiento y la cantidad de ahorro se incrementa en el mercado. Por el contrario, si la tasa de interés disminuye, se incrementan los préstamos, fuentes de financiamiento y la cantidad de ahorro disminuye.

Existen dos tipos de tasas de interés que intervienen en el análisis financiero. Una de ellas es la tasa pasiva, que se obtiene de los ahorros en sistemas bancarios, asociaciones o cooperativas de ahorro. La otra es la tasa activa, que es el beneficio que obtienen los prestamistas, sean sistemas bancarios, cooperativas o asociaciones por préstamos otorgados. El interés simple, es la tasa que se aplica sobre el capital y no es acumulativa, es decir, se calcula desde el periodo inicial y se mantiene constante hasta el final de este y así se continua con el mismo monto de la tasa de interés por los próximos periodos.

Este interés es calculado de modo que no se incluyen en el capital otorgado, como en los préstamos de corto plazo. La ecuación de la tasa de interés simple, está determinado por el capital, la tasa de interés y el tiempo que transcurrirá.

$$C_f = C_o * (1 + i)$$

Donde:

- $C_f$  es el capital final resultante
- $C_o$  es el capital inicial otorgado
- $i$  es la tasa de interés

El interés compuesto, a diferencia del interés simple, es la acumulación de intereses en el tiempo, o la acumulación de beneficio en un determinado periodo y que se añaden al capital, es decir, es el interés de los intereses generados. Es por ello que los préstamos crecen a ritmo acelerado. Por eso se dice que entre mayor es el tiempo de la capitalización, mayor es el interés acumulado o interés compuesto. Su ecuación es la siguiente:

$$C_f = C_o * (1 + i)^n$$

Donde:

- $C_f$  es el capital final resultante
- $C_o$  es el capital inicial otorgado
- $i$  es la tasa de interés
- $n$  es el periodo de tiempo correspondiente al préstamo

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ACTUAL

### 2.1. Diagrama del sistema de refrigeración

El diagrama del sistema de refrigeración actualmente instalado, está conformado por cuatro procesos:

- Expansión isotérmica reversible
- Compresión isotérmica reversible
- Expansión adiabática reversible
- Compresión adiabática reversible

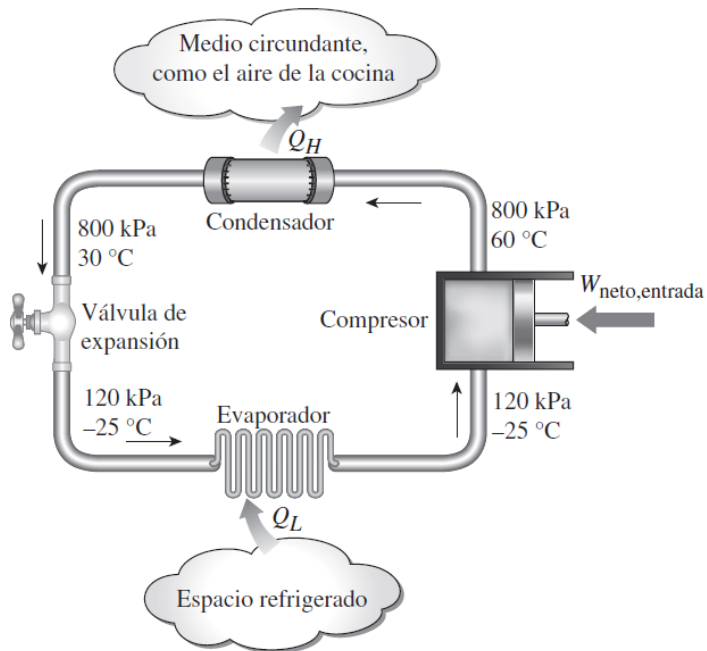
Los procesos isotérmicos reversibles están compuestos por el evaporador y condensador; los procesos adiabáticos reversibles o isentrópicos, por el compresor y la válvula de expansión. En la figura 3 podemos observar cómo es adaptable el concepto básico del ciclo de refrigeración donde se ve lo siguiente:

$Q_H$ : es el calor del medio circundante

$Q_L$ : es el calor del espacio refrigerado

$W_{\text{neto de entrada}}$ : es el trabajo neto que realiza el compresor

Figura 3. **Diagrama de ciclo de refrigeración**



Fuente: BOLES Cengel. *Termodinámica: Un aprovechamiento de la energía*. p. 617.

## 2.2. Compresor recíprocante

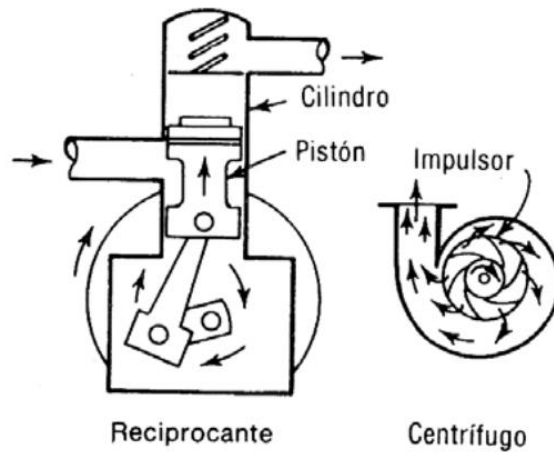
El compresor recíprocante actualmente instalado cuenta con carcasa que sella el refrigerante y lo aísla totalmente de la atmósfera, lo cual dificulta la reparación del compresor. Este tipo de compresor tiene el cuerpo en la parte de abajo y el motor en la parte superior, con los cilindros y pistones de forma horizontal. Además, cuenta con 4 cilindros y trabajan con el fluido refrigerante que ingresa por medio de succión. El compresor inicia su labor por medio de un motor eléctrico que acciona el pistón hasta disminuir la presión dentro del cilindro. Una vez la presión disminuye, la válvula de expansión se activa.

El compresor realiza su proceso correspondiente con el contenido del fluido refrigerante que se encuentra en su interior, para luego activar la válvula de expulsión una vez la presión haya aumentado. Este proceso es detallado en las etapas de funcionamiento interno del compresor.

Su principio de funcionamiento se basa en movimientos de vaivén, es decir, movimientos de derecha a izquierda o bien de atrás hacia adelante, trabajando en varias etapas:

- Admisión: cuando ocurre el proceso de expansión se inicia el ciclo nuevamente, donde ingresa el fluido refrigerante a través de la válvula de entrada.
- Compresión: disminuye el volumen del fluido refrigerante, aumenta su presión y temperatura.
- Expulsión: en este punto se observa que cuando el fluido refrigerante alcanza la presión alta deseada, expulsa el fluido refrigerante abriendo la válvula de expulsión.
- Expansión: al ocurrir el proceso de expulsión el fluido refrigerante no es descargado en su totalidad. Deja una porción del refrigerante que luego reducirá su presión y temperatura. Pasa por un proceso de expansión, para admitir nuevamente fluido refrigerante que hará el proceso descrito.

Figura 4. **Compresor recíprocante**



Fuente: MINICH. Elonka, *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. p. 46.

### 2.2.1. Componentes y accesorios

El compresor cuenta con tres tubos que ingresan a la carcasa, situados en distintas partes:

- Conexión de succión: es donde ingresa el fluido refrigerante.
- Conexión de descarga: es por donde expulsa el fluido refrigerante comprimido hacia el condensador.
- Conexión de proceso: corresponde a la corriente eléctrica.

Los anteriores son los componentes externos del compresor. Los internos son:

- Cilindros: llamado también cámara de compresión. Es el lugar destinado donde el proceso de compresión del fluido refrigerante se realiza.
- Pistones: es el encargado de comprimir el fluido refrigerante y está conformado por acero resistente.
- Válvula de entrada: en este punto se realiza el proceso de absorción del refrigerante, permite su ingreso al compresor para su proceso respectivo. Se expande cuando el compresor no detecta refrigerante en su interior, o bien el residuo cumple con presión y temperatura que admitirá el nuevo ingreso de refrigerante.
- Válvula de descarga de compresor: tiene un proceso de dilatación que permite la salida del refrigerante hacia otra etapa del proceso. Está colocada en el plato de válvula de expulsión o descarga.
- Cigüeñal: es un eje de transmisión que tiene unas manivelas que realizan un movimiento rotativo generado por el movimiento rectilíneo provocado por los pistones que están unidos a través de las bielas, y transforman el movimiento en energía.
- Anillos de los pistones: están hechos de hierro fundido para mayor durabilidad.

Figura 5. **Características externas compresores reciprocantes**



Fuente: Industrias Emerson. *Manual de compresores reciprocantes Copeland. Tipos de compresores.* p.2.

Dentro de las características especiales, del compresor actualmente instalado, están:

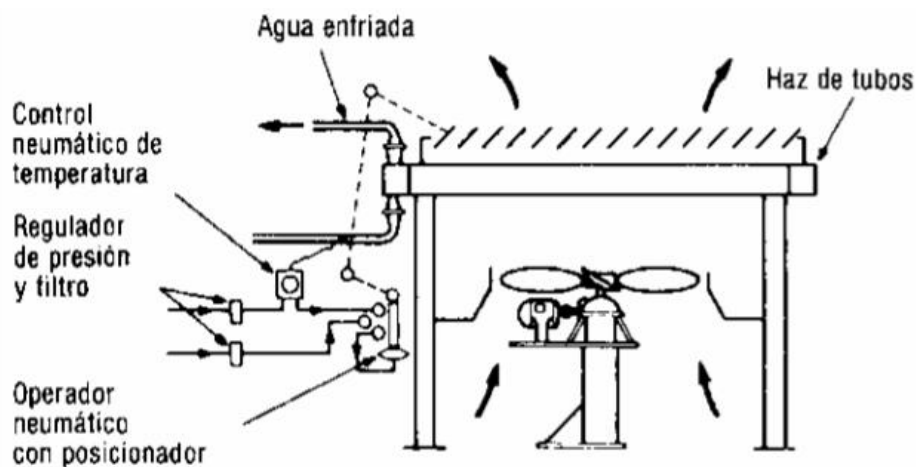
- Marca: Copeland
- Desplazamiento a baja temperatura: 7 800 ft<sup>3</sup>/h
- Desplazamiento a alta temperatura: 11 400 ft<sup>3</sup>/h
- Motor eléctrico de 3 600 rpm
- Potencia de 10 HP



### 2.3. Condensador

Tiene como tarea principal expulsar del sistema de refrigeración el calor hacia el medio circundante, para mantener en temperatura óptima al sistema y evitar el sobrecalentamiento. Otro de los objetivos del condensador es retirar toda la humedad que se haya absorbido en otra etapa del sistema y enviarla hacia el contenedor, el que acumulará el agua líquida extraída. El condensador actualmente instalado realiza su proceso de enfriado por aire, por esto mismo hay poca presencia de humedad. La temperatura se mantiene más elevada, en comparación de otros que funcionan por enfriamiento por agua. Tiene un consumo de energía mayor en comparación de otros condensadores, el mantenimiento es menor y no requiere costos por tratamiento de agua para prevenir corrosión. Estos están instalados en la parte exterior de las edificaciones, por tal razón, el calor expulsado proveniente de la tubería interior se expulsa a la atmósfera.

Figura 6. Descripción de condensador enfriado por aire



Fuente: MUNICH. Elonka. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 79.

## **2.4. Válvula de expansión**

La válvula de expansión tiene como función regular la cantidad de fluido refrigerante que ingresará en el evaporador, de acuerdo con la carga térmica.

Además, tiene otras funciones:

- Reducir temperatura y presión del fluido refrigerante antes de ingresar al evaporador.
- Evitar el sobrecalentamiento tanto en el evaporador, como en cámaras frigoríficas.
- Que exista un recalentamiento que evitará desbordes y la salida de fluido refrigerante en estado líquido del evaporador.

La válvula de expansión actualmente instalada cuenta con una potencia de 20 KW, serie TE12. Posee un bulbo que se coloca en la tubería de salida hacia el evaporador; un tubo capilar que une el bulbo con la válvula de expansión.

Un diafragma junto con el bulbo regulan el paso del fluido refrigerante y se puede modificar su capacidad; un tornillo regulador, regula el caudal mínimo de fluido refrigerante en su paso por la válvula de expansión; el cuerpo de la válvula, que contiene una pequeña cámara que permite la expansión cuando pasa el fluido refrigerante por un agujero por donde se expulsará.

## **2.5. Evaporador**

El evaporador instalado serie LC394B, posee una capacidad de 5 kw para congelados y refrigerados, temperatura de carga 0 °C. El fluido refrigerante debe ingresar en cantidades óptimas al evaporador para evitar variaciones en el sistema de refrigeración. Por ejemplo, si en una cámara refrigerante se ingresa una gran cantidad de producto mayor a la establecida para su conservación, el fluido refrigerante que ingresa al evaporador también debe ser mayor a la establecida para producir una potencia frigorífica adecuada, manteniendo la temperatura estable dentro de la cámara frigorífica. Si se ingresa a la cámara una cantidad mayor a la establecida de producto y el fluido refrigerante ingresa de manera constante sin variación, la temperatura de la cámara aumentará y el refrigerante se evaporará sin lograr la potencia frigorífica adecuada. Permanecerá por más tiempo dentro del evaporador para tratar de conseguir la temperatura adecuada y puede producirse un recalentamiento.

En el caso contrario, si la cantidad de producto en la cámara es menor a la establecida y el fluido se mantiene constante, la temperatura disminuirá en la cámara frigorífica. Se evapora el fluido refrigerante de forma lenta, lo que ocasiona una disminución de temperatura en la salida del evaporador, con probabilidad de que el fluido refrigerante sea expulsado de forma líquida y de vapor, y cause daños al compresor. Para cualquiera de los casos, debemos considerar que la presión en el evaporador se mantiene constante.

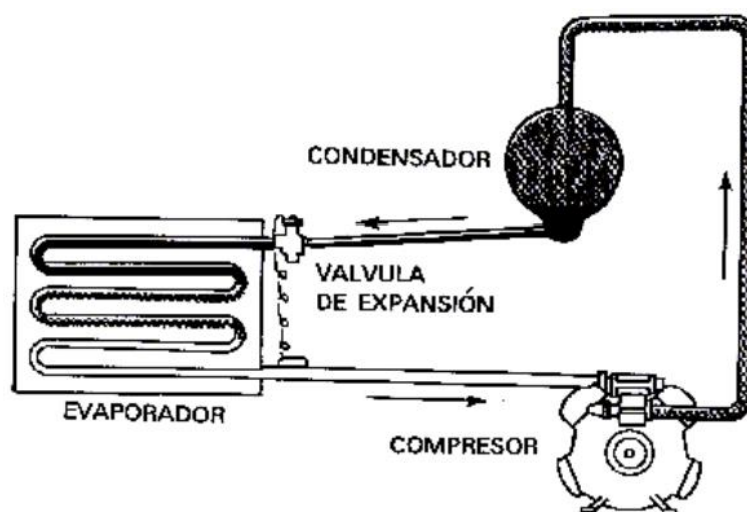
## **2.6. Tuberías**

Se utiliza el tipo de tubería ACR (acero cobre rígido), especial para sistemas de refrigeración; también los tipo K para gas comprimido, ambos son rígidos.

Para estas tuberías, se tomó en consideración la capacidad de soportar la velocidad del fluido para arrastrar el fluido refrigerante y contener caídas de presión. Las tuberías que se encuentran actualmente, tienen la capacidad de soportar velocidades de descarga de 15 m/s, velocidad de succión de 12 m/s. Están hechas de cobre y pueden cubrir hasta los 15 metros, con diámetro exterior de 3/4 pulgadas, para una capacidad de 520 psi para las tipo ACR y las tipo K con diámetro de 2 5/8 pulgadas, para una capacidad de 520 psi. Estas tuberías son soldadas y están acopladas por medio de bridas.

Las tuberías deben tener una adecuada instalación, ya que son parte fundamental de la unión de todos los equipos del sistema de refrigeración y deben contar con un diseño óptimo. En la figura 7 se observa cómo la tubería que sale del compresor al condensador y del condensador hacia el evaporador fue instalada para el paso del fluido refrigerante, mientras que del evaporador al compresor, se observa una tubería destinada para el lubricante del compresor.

Figura 7. **Instalación de un sistema de refrigeración**



Fuente: Prentice Hall. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 152.

## **2.7. Conexiones y accesorios**

Dentro de esta sección se mencionan las siguientes:

- El depósito para el fluido refrigerante en estado líquido que se enviará al evaporador cuenta con válvulas reguladoras de expulsión del fluido, válvula de presión, válvula para envío hacia el condensador, válvula de drenaje, conexión de carga de fluido refrigerante.
- La trampa de aceite reduce la cantidad que circula en el sistema y lo hace más eficiente. Se encuentra instalado cerca del compresor para mejorar su función.
- El filtro tiene la función de eliminar la humedad del sistema de refrigeración. Está formado por un material desecador que cumple con esta función.

## **2.8. Mantenimiento**

El sistema de refrigeración, como otros sistemas, debe ser inspeccionado y monitorear que todo marche si inconvenientes. Se debe verificar las tuberías, equipos que conforman el sistema, entre otros. El área de mantenimiento es el encargado de realizar esta tarea, desarrolla los programas y todos los puntos necesarios para la correcta operación del sistema.

### **2.8.1. Preventivo**

Es un conjunto de acciones que tiene como función prevenir fallos en los equipos y, previniendo paros en los procesos. Hay métodos para determinar los pasos del mantenimiento preventivo, tales como:

- Determinar las especificaciones de fábrica de los equipos.
- Verificar las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes o expertos en el campo.
- Verificar normas de seguridad industrial vigente y aplicable al trabajo que se quiere realizar.

Es importante aplicar criterios que permitan realizar un mantenimiento preventivo exitoso y eficiente, como, por ejemplo, tener una programación de mantenimiento ya sea por tiempo, por horas máquina trabajadas, entre otros.

Se debe tomar en cuenta el mantenimiento predictivo dentro del mantenimiento preventivo, ya que con ello se podrá establecer el momento para realizar las reparaciones que sean necesarias, a través de supervisiones y el seguimiento de la vida útil de los componentes y equipos. También se pueden tomar aquellos tiempos donde los equipos no estén operando por diversas razones, para realizar los mantenimientos que sean necesarios. Actualmente la programación del mantenimiento preventivo se realiza anualmente. Es un proceso de revisión básico que incluye los equipos y elementos principales del sistema de refrigeración. En la tabla 1 se presenta una lista de los puntos que actualmente se revisan en cada supervisión. No se cuenta con un formato que permita tener estandarizado este proceso.

Tabla I. **Lista de revisión de mantenimiento preventivo actual**

<b>Punto a chequear</b>	<b>Verificación</b>	<b>Resultado (1 funciona, -1 no funciona)</b>	<b>Fecha de revisión</b>
<b>Nivel de lubricante</b>	Niveles de lubricante de compresor, normal, bajo		
<b>Presión de lubricante</b>	La presión del lubricante del compresor debe mantenerse entre 15 a 20 lb/in <sup>2</sup>		
<b>Sellado</b>	Verificar el sello del compresor y que no presente fugas de fluido refrigerante		
<b>Filtros</b>	Verificar el estado del filtro de humedad y filtro de aire, si presentan partículas de suciedad		
<b>Fluido refrigerante</b>	Verificar los niveles de refrigerante normal, bajo		
<b>Fluido refrigerante</b>	Verificar que no exista mezcla de vapor y líquido a través de la mirilla		
<b>Motores</b>	Verificar lubricación de los motores y condiciones del motor y cojinetes		

Continuación tabla I.

<b>Montaje</b>	<b>Verificar que no exista holguras, pernos flojos en poleas y uniones</b>		
<b>Manómetros</b>	Verificar las presiones del sistema		
<b>Sistema eléctrico</b>	Verificar contactos, arranques y cables sueltos		
<b>Condensador</b>	Verificar válvulas de succión y temperaturas		
<b>Tuberías</b>	Verificar, corrosión, fugas, oxidación		

Fuente: elaboración propia.

La tabla I considera puntuación de 1 y 0, donde 1 es condición óptima y 0 es condición de falla. Se considera una puntuación de 14 puntos como “excelente”, puntuación de  $\geq 8$  y  $< 14$  puntos, “necesita revisión” y puntuación  $\geq 0$  y  $\leq 7$  “fallos en el sistema”.

#### 2.8.1.1. Energía eléctrica

La medición de la energía eléctrica se realiza en kw/h de consumo mensual o anual. En este punto de análisis se ha constatado que al existir mayor temperatura de evaporación, es mayor el consumo eléctrico. Una de las maneras de disminuir los picos de temperatura de evaporación es evitar acumulación del lubricante de los compresores en los evaporadores, verificar la eficiencia de las líneas de succión y mantener limpios los filtros; estos puntos se mencionarán más adelante.



La corriente eléctrica utilizada para el funcionamiento del motor de arranque o motor de accionamiento del compresor es alterna, tal como se indicó en el capítulo 1.

#### **2.8.1.2. Lubricación**

Con la lubricación se disminuye la fricción y, por consiguiente, se evita el desgaste del compresor y sus componentes. El aceite o lubricante que se utiliza de origen mineral, es sintético lo que significa que tiene un solo componente químico. Es libre de grasa, tienen buen desempeño en temperatura de congelación, es dieléctrico y absorbe la humedad.

Las características del lubricante utilizado actualmente se enuncian a continuación:

- Aceite mineral 150, viscosidad de 150 grados.
- Compatible con fluidos refrigerantes: R22, R500, R13, R401a, entre otros.
- Resistencia a corrosión.
- No generan ceras.
- Previenen bloqueo y aseguran un buen funcionamiento del evaporador.

#### **2.8.1.3. Refrigerante**

El refrigerante es un fluido o sustancia química utilizada para la transmisión de calor entre equipos del ciclo de refrigeración. Son utilizados en aires acondicionados y en equipos de refrigeración. Su clasificación se realiza, según su forma de trabajo, es decir, si el enfriamiento ocurre directamente sobre el objeto o si es de forma indirecta.

Se clasifica de la siguiente manera:

- **Primario:** trabajan con presión y temperatura baja, transfieren el calor a elementos que contengan presión y temperatura más alta.
- **Orgánicos:** son los nitrogenados, oxigenados e hidrocarburos. Estos últimos se clasifican de la siguiente manera:
  - **CFC:** representan a los refrigerantes R11 y R12, compuestos por cloro, flúor y carbono.
  - **HCFC:** aquí encontramos al refrigerante R22, compuesto por cloro, carbono e hidrógeno.
  - **HFC:** son los refrigerantes R407c, R410a, R134a. Son amigables con el medio ambiente, ya que no contienen cloro y están compuestos por flúor, carbono e hidrógeno
- **Secundarios:** transfieren el calor a otros refrigerantes, como por ejemplo el agua.

Los refrigerantes cumplen con una serie de características para ser utilizados en los sistemas de refrigeración, tales como:

- **Absorción de calor:** debe ser efectivo para que una cantidad menor del fluido refrigerante absorba una gran cantidad de calor.
- **Estable en su conformación química.**

- Temperatura de ebullición: debe ser baja en comparación con la temperatura del condensador y estar cercano a la temperatura atmosférica.
- No inflamables, corrosivos o tóxicos.
- De bajo impacto ambiental.
- Deben ser compatibles con los lubricantes y agua.
- Deben ser dieléctricos.

Tabla II. **Característica del refrigerante actual**

<b>Refrigerante</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>Toxicidad</b>	<b>Peligros</b>	<b>almacenamiento</b>
<b>R22</b>	Estable, no compatible con zinc y aleaciones de aluminio, compatible con aceites minerales y poliolester (POE)	Media	En presencia de fuga, sus partículas se acumulan en el suelo	Debe conservarse en lugar fresco

Fuente: elaboración propia.

### **2.8.2. Mantenimiento correctivo**

Los mantenimientos correctivos son aquellos que, como su nombre indica, corrigen las fallas del sistema. Comúnmente se realiza con el desconocimiento de porqué se han suscitados las fallas, por la falta de supervisiones continuas o equipos antiguos, lo que da paso a diagnósticos tardíos.

Debemos considerar la sustitución de componentes por fallas permanentes, o bien la sustitución completa de los equipos. Este tipo de mantenimiento, suele ser de alto costo a largo plazo.

Se deben considerar fugas del refrigerante, alto condensado, picos de consumo energético y, sobre todo, tomar en cuenta las especificaciones del fabricante, para evitar daños mayores por desconocimiento del funcionamiento de componentes.

Actualmente, los compresores instalados son antiguos y no se cuenta con programas de mantenimiento preventivo de manera continua. Esto ha ocasionado que exista un elevado número de mantenimientos correctivos, con altos costos, que impactan directamente a las unidades de negocio.

### **3. ESTÚDIO TÉCNICO**

#### **3.1. Capacidad frigorífica del sistema**

La capacidad frigorífica del sistema de refrigeración llamada también potencia frigorífica, es la cantidad de calor que absorbe el sistema de refrigeración. Para ello debemos tomar los siguientes elementos:

- Ganancia de calor a través de las paredes.
  - Superficie total exterior de la cámara.
  - Aislamiento empleado.
  - Diferencia entre temperatura exterior e interior.
- Calor ganado por lúmenes y calor generado por las personas.
- Calor ganado por cantidad de producto almacenado.

##### **3.1.1. Función de la cámara fría**

La cámara fría tiene como función evitar el crecimiento de bacterias y microorganismos y evitar la descomposición temprana de los alimentos, mediante la ausencia de calor dentro de la cámara. En los supermercados se realizan los siguientes pasos que ayudan a que las propiedades y la vida útil de los alimentos se mantengan por el tiempo establecido:

- Evitar la contaminación cruzada: se separan los alimentos cárnicos y lácteos de los vegetales y frutas.

- Mantener las puertas cerradas de las cámaras para evitar que ingrese más calor del exterior al sistema.
- Evitar el uso excesivo de iluminación artificial.
- Limpieza y desinfección continua de la cámara fría. Con ello evitamos el crecimiento de microorganismos y permite verificar anomalías en la estructura tanto interna como externa de la cámara fría.

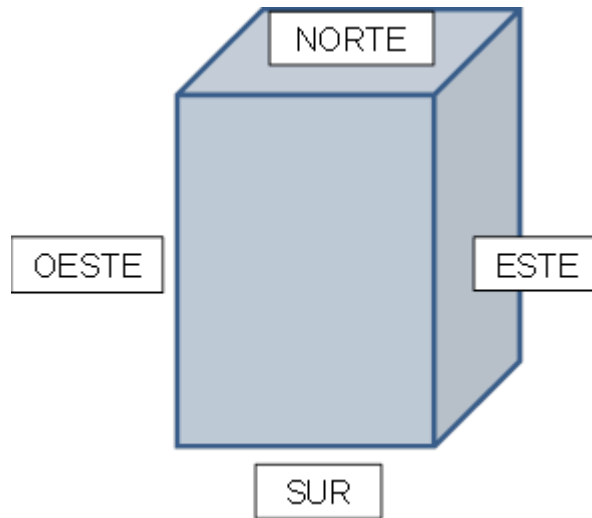
Para lograr el uso eficiente de la cámara fría se brinda capacitaciones continuas al personal, con el fin de preservar la inocuidad de los alimentos, evitar el pronto desgaste de las cámaras instaladas y optimizar su funcionamiento.

### **3.1.2. Dimensiones de la cámara fría**

Para calcular las dimensiones de la cámara fría se usará el cálculo de la capacidad frigorífica del sistema, anteriormente descrito. Se debe considerar la temperatura de entrada de producto ( $T_{\text{entrada producto}}$ ), aislamiento de paredes y techo, temperatura de ubicación de la cámara:

- $T_{\text{entrada producto}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Aislamiento =  $0,188\text{ W / m}^2\text{K}$ .
- Altura 11 metros; ancho de 15 metros; largo 20 metros.
- Se toma en cuenta el tipo de productos, el volumen que se almacenará y la posición de la cámara fría.

Figura 8. **Posición paredes de cámara fría**



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra la dirección de la colocación de las cámaras frías. Se puede apreciar la posición de cada una de las paredes, ya que se toma en consideración la temperatura ( $T$ ) y el calor ( $Q$ ) para cada una de ellas:

- Pared norte:  $T_{\text{Norte}}$ ,  $Q_{\text{Norte}}$
- Pared sur:  $T_{\text{Sur}}$ ,  $Q_{\text{Sur}}$
- Pared oeste:  $T_{\text{Oeste}}$ ,  $Q_{\text{Oeste}}$
- Pared este:  $T_{\text{Este}}$ ,  $Q_{\text{Este}}$
- Temperatura del exterior

### 3.1.3. **Cálculo de la carga térmica de la cámara frigorífica**

Para el cálculo de la carga térmica se tomaron en cuenta las siguientes variables:

Tabla III. **Medidas cámara fría**

Productos	Largo	Ancho	Alto
<b>Carnes, verduras, frutas</b>	20 m	15 m	11 m

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del calor aportado por pared, techo y suelo  $Q_{total}$ 
  - $K$  aislamiento como se observó anteriormente es de 0,188 W/m<sup>2</sup>K
  - Temperatura producto aproximado 5 °C
  - Temperatura del exterior 26 °C
  - Temperatura pared Sur 8 °C
  - Temperatura pared Este -10 °C
  - Temperatura pared Oeste 26 °C
  - Temperatura techo 23 °C
  - Temperatura suelo 15 °C

El calor está representado por la ecuación:

- $Q = A \cdot K (T_{exterior} - T_{interior})$  y el calor total esta es la suma del calor aportado por todas las partes;  $Q_{total} = Q_{pared} + Q_{techo} + Q_{suelo}$

Por lo tanto, tenemos:

- $Q_{paredNorte} = 869 \text{ W}$
- $Q_{paredOeste} = 653 \text{ W}$
- $Q_{paredEste} = -465 \text{ W}$
- $Q_{paredSur} = 124 \text{ W}$



- $Q_{techo} = 1\,015\text{ W}$
  - $Q_{suelo} = 564\text{ W}$
  - $Q_{total} = 2\,759\text{ W}$
- Calor generado por las personas  $Q_{personas}$ : se refiere a todas las personas que ingresan a la cámara frigorífica a manipular los alimentos almacenados. La tabla IV contiene los valores de calor generado por persona en la cámara frigorífica según la temperatura de esta. Se utilizará como referencia para el cálculo del calor generado por las personas.

Tabla IV. **Valores de calor generado por persona**

Temperatura de la cámara fría °C	Calor específico por persona (W)
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Continuación tabla IV.

<b>-25</b>	<b>420</b>
<b>-30</b>	450

Fuente: SCRIBD. *Cálculo potencia frigorífica*. <https://es.scribd.com/doc/58759870/calculo-potencia-frigorifica>. Consulta: 15 de diciembre de 2019

Para este dato utilizaremos la ecuación:

$$Q_{personas} = N * P_p * t$$

Donde:

- $N$  es el número de personas que ingresarán a la cámara frigorífica, 5 personas.
  - $P_p$  calor generado por persona 240 W
  - Tiempo permanencia al día 3 h/día
  - $Q_{per} = 3\,600 \text{ kJ/día} = 42 \text{ W}$
- Calor generado por la iluminación artificial  $Q_{ia}$ : generado por los tipos de lámparas que están instaladas y que aportan calor al espacio. Actualmente se usan lámparas de iluminación led. Se utilizará la ecuación siguiente:

$$Q_{ia} = f * P_f * t_f,$$

Donde:

- $f$  factor de iluminación, en esta caso se utiliza 1
  - $pf$  potencia de las lámparas, 12 W
  - $tf$  tiempo que trabajan las lámparas 12 h
  - $Q_{ia} = 155\,520 \text{ kJ/día} = 1\,800 \text{ W}$
- Calor generado por la maquinaria  $Q_e$ : generado por la máquina de transporte de tarimas. Se calcula a través de la ecuación:

$$Q_e = P_m * t * 0,6$$

Donde:

- $t$  tiempo que opera, 5 h
  - $P_m$  potencia de motor, 12 kW
  - $Q_e = 129\,600 \text{ kJ/día} = 1\,500 \text{ W}$
- Calor generado por productos  $Q_{pro}$ : es el enfriamiento del producto, tomando en cuenta la cantidad de producto que ingresa a la cámara frigorífica, calculado por la ecuación:

$$Q_{pro} = m * C_p (T_e - T_f)$$

Donde:

- $m$  es la carga diaria que ingresa a la cámara  $m = x * M$ , siendo  $x$  el factor 0,1 y  $M$  = volumen de la cámara \* capacidad de esta, la capacidad es de  $55 \text{ kg/m}^3$ .

- $C_p$  calor del producto en %.
- $T_e$  temperatura de entrada del producto a la cámara 9 °C.
- $T_f$  temperatura próxima a la congelación 1 °C.
- $Q_{pro} = 18\ 150 * 3,8 (9 - 1) = 63\ 900\ W$ .

La carga térmica del sistema, es la sumatoria de las variables calculadas anteriormente. Esta es:

$$Q_{sistema} = Q_{total} + Q_{per} + Q_a + Q_m + Q_{pro}$$

$$Q_{sistema} = 70\ 001\ W$$

### **3.2. Características de los equipos seleccionados**

Las características son fundamentales para la correcta selección de los equipos. Dentro de estas se verán los costos, la capacidad y consumos energéticos de los compresores, para seleccionar el adecuado según las necesidades del sistema de refrigeración.

#### **3.2.1. Costos compresor de refrigeración**

Los costos de los compresores se basan en las características de funcionamiento, que cumplan con los requerimientos para enfriar la cámara del sistema de refrigeración.

El compresor seleccionado, debe cumplir con características de trabajo de 220 v en corriente alterna para el arranque y trabajar entre 50 Hz y 60 Hz. Se presentan las siguientes propuestas de compresores.

Tabla V. **Costo de compresores**

Compresor	Costo x unidad	Capacidad	Potencia	Temperatura de trabajo	Refrigerante
<b>Copeland</b>	Q. 80 000,00	21 300 W	30 HP	Media	R22
<b>Bitzer</b>	Q. 75 000,00	24 200 W	34 HP	Media	R22, R404a, R407
<b>LG</b>	Q. 78 000,00	19 801 W	32 HP	Media	R404a
<b>Frascold</b>	Q. 91 000,00	24 400 W	32 HP	Media	R404a

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Cálculo de capacidad del compresor

Para conocer la capacidad del compresor adecuado se debe contar primero con el dato de la carga frigorífica necesaria y las dimensiones de la cámara fría que estará instalada en el sistema de refrigeración. Para ello tenemos:

- Carga térmica del sistema, que fue calculada en la sección 3.1.3,  $Q_{\text{sistema}} = 70\,001\text{ W}$ .
- Dimensiones de la cámara fría, mencionadas en la tabla III de la sección 3.1.3; alto 11 metros, largo 20 metros, ancho 15 metros,  $Vol = 3\,300\text{ m}^3$ .

Por lo tanto, tenemos que realizar la conversión en HP de la carga térmica necesaria:

- $Q_{\text{sistema}} = 70\,001\text{ W}$
- $1\text{ HP} = 736\text{ W}$ 
  - Tenemos:  $Q_{\text{sistema}} / 736\text{ W}$

- Capacidad del compresor de 95 HP
- Como resultado, se puede instalar 3 compresores de temperatura media de 32 HP, con capacidad de 23 350 W aproximados.

### 3.2.3. Consumos energéticos actuales vs los propuestos

Los consumos energéticos de los compresores propuestos, fueron calculados de acuerdo al consumo aproximado en sistemas similares.

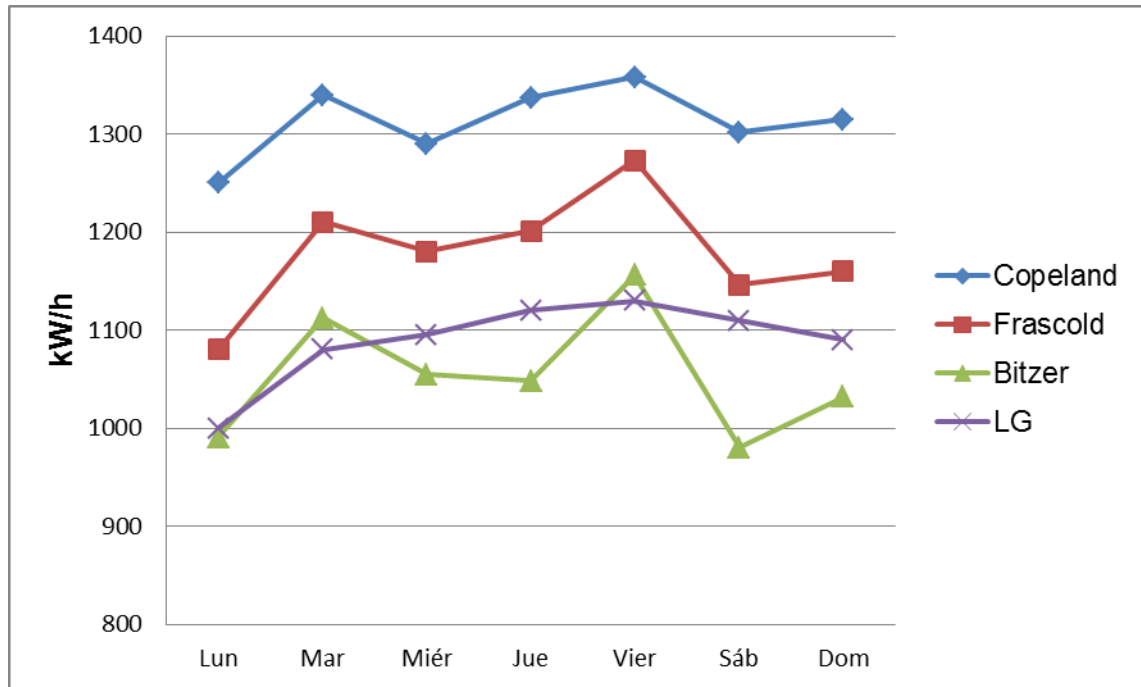
En cada uno de ellos se coloca el dato diario generado según su funcionamiento, lo que da como resultado datos totales a la semana que pueden ser verificados de manera anual.

Tabla VI. Consumo diario energético de compresores en kW/h

Compresor	Lun	Mar	Miér	Jue	Vier	Sáb	Dom	Total
<b>Copeland</b>	1 250	1 340	1 290	1 337	1 358	1 302	1 315	9 192
<b>Frascold</b>	1 080	1 210	1 180	1 201	1 273	1 146	1 160	8 250
<b>Bitzer</b>	991	1 112	1 055	1 048	1 156	980	1 032	7 374
<b>LG</b>	1 000	1 080	1 095	1 120	1 130	1 110	1 090	7 625

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Gráfico consumo diario energético**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla VI, los valores totales a la semana de cada compresor indican cuál de estos equipos es el más apropiado en cuanto al consumo energético. En el caso de los compresores Copeland, corresponden a valores históricos.

En la tabla VII se muestran los porcentajes de ahorro energético que tiene cada compresor, en comparación al consumo actual de los compresores Copeland.

Tabla VII. **Porcentaje de ahorro energético de cada compresor**

Compresor	Total semana	Total mes	Total año	% ahorro
<b>Copeland</b>	9 192 kW/h	36 768 kW/h	441 216 kW/h	0 %
<b>Frascold</b>	8 250 kW/h	33 000 kW/h	396 000 kW/h	10,2 %
<b>Bitzer</b>	7 374 kW/h	29 496 kW/h	353 952 kW/h	19,8 %
<b>LG</b>	7 625 kW/h	30 500 kW/h	366 000 kW/h	17 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. Selección del equipo compresor

Para la selección del equipo compresor se tomarán todos los datos calculados en la sección 3, considerando que se necesitan tres (3) compresores de 20 HP y capacidad de 23 300 W cada uno. Para ello tenemos:

Tabla VIII. **Cuadro comparativo de compresores**

Compresor	Costo x unidad	Capacidad	Potencia	% ahorro energético
<b>Copeland</b>	Q. 80 000,00	21 300 W	30 HP	0 %
<b>Bitzer</b>	Q. 75 000,00	24 200 W	34 HP	19,8 %
<b>LG</b>	Q. 78 000,00	19 801 W	32 HP	17 %
<b>Frascold</b>	Q. 91 000,00	24 400 W	32 HP	10,2 %

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto el equipo compresor que se adecua a las necesidades de nuestro sistema de refrigeración es el compresor Bitzer, cuyo costo de compra es de Q. 75 000,00 por cada unidad, para una total de compra de Q. 225 000,00 con un ahorro energético del 20 %.



### **3.3. Montaje de equipo compresor**

Para el montaje del equipo compresor se debe tomar en cuenta que el motor eléctrico forma parte del conjunto. Su función es accionar el compresor. El montaje de los compresores se debe realizar sobre una base metálica igual o equivalente, donde se ubican los que serán reemplazados. Para ello se tomó en consideración el siguiente procedimiento:

- Estudio del terreno.
- Construcción de la loza de concreto.
- Revisión de nivelación de la loza de concreto.
- Colocación de una estructura metálica, donde descasarán los compresores.
- Colocación de los pernos que fijarán el compresor sobre la base metálica.
- Verificación de la instalación eléctrica.

#### **3.3.1. Carga sobre el suelo**

Para realizar los cálculos de la carga sobre el suelo, debemos considerar:

- El peso del compresor
- Peso de la estructura metálica que sostiene el compresor
- Peso del equipo con los fluidos refrigerantes y lubricantes

- **Peso de los accesorios**

Se tomará en cuenta los pesos de algunos líquidos y la capacidad de carga de algunos materiales utilizados.

**Tabla IX.      Peso de líquidos**

<b>Líquidos</b>	<b>Lb/gal</b>	<b>Densidad</b>
<b>Glicol</b>	8,5	1,03
<b>Agua</b>	8,33	1
<b>Lubricante</b>	7,6	0,916
<b>Diésel</b>	7,1	0,855

Fuente: Mycom. *Manual de compresores*. p. 3.

**Tabla X.      Capacidad de carga de materiales**

<b>Líquidos</b>	<b>Lb/pul<sup>2</sup></b>	<b>kPa</b>
<b>Roca, tierra endurecida</b>	70	482
<b>Arcilla dura, grava</b>	56	386
<b>Arena fina</b>	14	96,4
<b>Arcilla blanda</b>	0 a 14	0 a 96,4

Fuente: Mycom. *Manual de compresores*. p. 2.

Para mayor capacidad de carga, es recomendable utilizar en el sitio roca, tierra endurecida, grava, según se observa en la tabla X. Estos elementos tienen una mayor capacidad de carga, sobre todo al tomar en cuenta la carga total del sistema, donde se incluyen los pesos de los líquidos. Los materiales como arcilla blanda y arena fina, según se observa en la tabla X, son elementos con baja capacidad de carga.

Son inestables para las cargas dinámicas, requieren de cimientos para generar un mayor soporte del suelo, lo que eleva los costos de preparación del terreno. Para el cálculo de la carga, se toma en cuenta que el terreno cuenta con piedra (roca) y tierra endurecida. Esto genera una capacidad de carga de 70 lb/pulg<sup>2</sup>, tal como se muestra en la tabla X. El cálculo de la carga sobre el suelo se realiza mediante la ecuación:

$$P = W / A$$

Donde:

- $P$  es la presión que ejerce el equipo compresor sobre el suelo en lb/pul<sup>2</sup>.
- $W$  es el peso total del equipo compresor en libras.
- $A$  es el área sobre el suelo que ocupa el equipo compresor en pulgadas cuadradas.

Por lo tanto, tenemos:

- $W = \text{peso del compresor} + \text{peso de refrigerante} + \text{peso de agua} + \text{peso lubricante} + \text{peso accesorios} + \text{peso estructura metálica} = 4\,158 \text{ lb.}$
- $A = 512 \text{ pul}^2.$
- Entonces:  $P = W / A = 4\,158 \text{ lb} / 512 \text{ pul}^2 = 8,12 \text{ lb/pul}^2.$

La presión que ejerce sobre el suelo es de 8,12 lb/pul<sup>2</sup> y según la tabla X, la capacidad de carga que tiene el material del suelo es de 70 lb/pulg<sup>2</sup>. El resultado es que el material sobre el suelo soportará la carga o presión ejercida por el equipo compresor.

### **3.3.2. Vibración**

La vibración es un movimiento importante que se debe considerar en todos los equipos debido al desgaste que puede producir en sus componentes y se puede verificar a través de la intensidad y la frecuencia. Para este cálculo, se consideran cualquier tipo de vibración generada en función de vibraciones indeseables y la fuente que la ocasiona; aquello que sea afectado directamente por las vibraciones y necesite alguna protección; origen o procedencia de las vibraciones que afectan el equipo.

Una característica importante que se debe tomar en cuenta, es la resonancia mecánica, que consiste en la fuerza continua a la que es sometido un cuerpo a través de la vibración. Provoca un aumento en la amplitud de su movimiento, genera daños a la estructura y al equipo, como fracturas o daños permanentes.

Para la detección de las vibraciones y la resonancia se hace uso del estroboscopio. Su función es la visualización de las vibraciones y rotaciones en forma de cámara lenta, a través de una luz que parpadea por intervalos de tiempo que enfoca directamente el punto de vibración. Una vez enfocado, se ajusta la reflexión hasta que tiene la apariencia de inmovilidad y es cuando el cálculo de la frecuencia es mostrado en el aparato.

### **3.3.3. Cimentación y anclaje**

Para el análisis de la cimentación se pueden tomar de referencia varios criterios para su elaboración. Para el caso de los compresores que utilizaremos se tomó a razón de las funciones principales que debe tener el cimiento:

- Debe soportar el peso total de la unidad compresora y accesorios.
- Su función debe ser el de comportamiento aislante de las vibraciones hacia los medios circundantes (estructuras, otros equipos cercanos).

La recomendación para la elaboración de los cimientos es que puedan soportar entre 3 a 5 veces el peso de los equipos, para garantizar la seguridad de los mismos y anular el efecto de la resonancia, ya que puede causar daños severos a los equipos y al suelo.

Existen varios tipos de cimientos, sin embargo, para el montaje de los equipos compresores se utilizarán los de hormigón, que deberán tener la capacidad de soportar el peso total de los equipos. Su profundidad será la suficiente que soporte como mínimo el peso total del equipo. El tamaño debe ser mayor a las dimensiones de todo el equipo. El hormigón estará elaborado con cemento, arena y grava o piedra, en proporción de 1.2.3 por volumen. A esta mezcla se le agrega agua como aditivo. El hormigón será reforzado con electromallas de hierro.

Para el cálculo de los cimientos se utilizará la ecuación:

$$FD = W / (D * B * L)$$

Donde:

- $FD$  profundidad de los cimientos
- $W$  peso total de equipo
- $D$  densidad del hormigón
- $B$  ancho de los cimientos

- $L$  longitud de los cimientos

Por lo tanto tenemos:

$$W = 4\,158 \text{ lb}$$

$$D = 152 \text{ lb/pie}^3$$

$$B = 2,31 \text{ pies}$$

$$L = 4,35 \text{ pies}$$

$$FD = 4\,158 / (152 * 2,31 * 4,35)$$

$$FD = 2,72 \text{ pies} = 830 \text{ mm}$$

Para el anclaje, se recomiendan 8 pernos de acero por cada unidad compresora, cada uno de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro.

#### **3.3.4. Instalación eléctrica**

Los equipos compresores funcionan con 220 voltios trifásica y 50/60 Hz. El arranque lo realizan a través de conexión Delta-Estrella. Esto funciona para los motores eléctricos que van conectados al arranque del compresor y para el motor del condensador.

Estará instalado con un porta-fusible que brinda la seguridad y protección necesaria del equipo, con un interruptor de tamaño 3x30x220 para motores que van de 0 a 70 HP. Para el arranque del motor, también es necesario colocar un arrancador magnético trifásico No. 4 de 60 amperios para motores eléctricos mayores de 20 HP y un conductor de calibre 4.

### 3.4. Mantenimiento preventivo

Es necesario tomar en consideración varios puntos que se supervisarán en cada mantenimiento preventivo. Entre ellos están:

- La frecuencia de inspecciones al equipo
- Calibración
- Revisión de partes que deban ser sustituidas
- Bajo voltaje, que puede ser verificado por baja velocidad del motor (rpm)
- Cambiar los filtros del flujo refrigerante

Para ello se hará uso de un cuadro de fallas comunes en los sistemas de refrigeración, que permitirá llevar un mejor control.

Tabla XI. **Posibles problemas en un sistema de refrigeración por compresión**

Ciclos cortos del compresor		
Síntomas	Causa	Corrección
Paros frecuentes	Mal contacto en control de mando	Reparar el daño o sustituir el control de mando
Presión alta de descarga	Condensación defectuosa, sobrecarga de refrigerante o exceso de condensado	Reparar o cambie según corresponda
Arranques frecuentes	Falta de refrigerante por posible fuga	Reparar la fuga y nivelar el refrigerante

Continuación tabla XI.

<b>Pérdida de aceite del compresor</b>		
<b>Síntomas</b>	<b>Causa</b>	<b>Corrección</b>
Bajo nivel de aceite	Carga insuficiente	Nivelar la cantidad de aceite requerida
Aceite regado en la base del compresor	Uniones del cárter tiene fuga	Reparar la fuga y nivelar el aceite
<b>Ruido en el compresor</b>		
<b>Síntomas</b>	<b>Causa</b>	<b>Corrección</b>
Compresor se detiene	Insuficiente aceite	Nivelar la cantidad de aceite requerida
Sonido agudo del compresor en operación	Sellos dañados o secos	Nivelar la cantidad de aceite requerida
Golpeteo en el compresor	Daños internos en el compresor, por fracturas en sus componentes	Reparación del compresor o sustitución de ser necesario
<b>Compresor trabaja continuamente sin interrupción</b>		
<b>Síntomas</b>	<b>Causa</b>	<b>Corrección</b>
Burbuja en mirilla	Insuficiente refrigerante por fuga	Reparar la fuga y nivelar la cantidad de refrigerante
Presión alta de descarga	Sobrecarga de refrigerante	Purgar el exceso
Ruido en el compresor, compresión de descarga baja o presión de succión alta	Válvulas del compresor no cierran correctamente	Reparación de las válvulas del compresor

Fuente: Hernández Winston. *Montaje de equipo de refrigeración mecánico por compresión de amoníaco con una capacidad de 33 toneladas de refrigeración utilizado para absorber el calor de la solución que se usa en la elaboración de bebidas gaseosas de la empresa Tropic S.A.*  
p. 120.



### **3.4.1. Lubricación**

La función del aceite es la de lubricar las partes del compresor (donde se genera movimiento y se crea una película que disminuye el desgaste por fricción). Sus propiedades no deben cambiar al mezclarse con el fluido refrigerante. Debe tener la capacidad de soportar altas temperaturas generadas por el compresor y las bajas temperaturas generadas por el evaporador. El aceite lubricante debe ser aislante eléctrico.

Dentro de sus cualidades debemos encontrar la baja viscosidad, evitar que contenga alto contenido de ceras que puedan solidificarse dentro del sistema, no debe absorber humedad, estabilidad química, estabilidad térmica que permita mantener en buenas condiciones la culata del compresor. Para el sistema compresor, se utilizará aceite sintético polioléster (POE) especialmente utilizados para compresores reciprocantes y sus respectivos refrigerantes. Para este caso se utilizará el POE Texas100 que tiene las siguientes características:

- Protección de las partes del sistema compresor.
- No absorben humedad.
- Miscibilidad que garantiza el retorno del aceite sin alterar sus propiedades.
- Puede ser utilizado en sistemas de compresión tanto nuevos como antiguos.
- Compatibles con los refrigerantes R-134a, R-404a, R-407, R-410.

Para la carga del aceite lubricante, se debe introducir en el cárter del compresor y se continúa regulando el nivel de aceite del compresor. Esta nivelación se verifica por medio de las mirillas de niveladores de aceite que se encuentran en los compresores y se drena el aceite que se encuentra en el sistema para luego proceder con la nivelación.

### **3.4.2. Refrigerante**

Los refrigerantes en este caso recomendados para los sistemas de compresión Bitzer son los R-404a, especiales para compresores de media y baja temperatura. Compatibles con los aceites lubricantes POE, tienen excelente funcionamiento en los sistemas de refrigeración industrial.

La conexión de la carga del refrigerante se encuentra en el lado de alta presión del sistema, donde se inserta el tubo del cilindro del refrigerante en la válvula de carga. Esta direcciona hacia abajo. Se debe asegurar que tanto la válvula de carga como la del cilindro se encuentren abiertas para el proceso de introducción del refrigerante.

Una vez finalizado el proceso de carga, se debe poner en marcha de forma lenta el compresor y asegurarse que la válvula de expansión se encuentre cerrada.

## **4. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO**

### **4.1. Estudio económico**

Para el sistema de refrigeración actual de compresores Copeland y el sistema de refrigeración propuesto de compresores Bitzer, es necesario verificar los costos a los que serán sometidos ambos sistemas. También se determinará si la empresa cuenta con el financiamiento necesario para invertir, lo que establecerá la factibilidad del proyecto.

#### **4.1.1. Costo del sistema de refrigeración actual**

Los costos estimados del sistema actual se obtienen de los datos históricos relacionados al funcionamiento de los sistemas actualmente instalados en los puntos de venta. Se tomará en cuenta los costos que se involucran directamente en la operación del sistema de refrigeración.

##### **4.1.1.1. Mano de obra**

La mano de obra está constituida por aquellas personas involucradas en todos los procesos de la organización, que devengan sueldo o salario estipulado según los contratos de trabajo.

Dentro de los rubros que se involucran en la puesta en marcha del proyecto, se encuentran la mano de obra calificada y la no calificada.

Tabla XII. **Sueldos**

<b>Puesto</b>	<b>Sueldo</b>
<b>Gerente de Mantenimiento</b>	Q. 8 250,00
<b>Coordinador</b>	Q. 5 000,00
<b>Supervisor</b>	Q. 4 250,00
<b>Técnicos</b>	Q. 2 825,10
<b>Analista de compras</b>	Q. 3 250,00
<b>Asistente facturación</b>	Q. 3 250,00

Fuente: elaboración propia.

En la mano de obra calificada se incluyen a todas aquellas personas que están en contacto directo con el proceso del sistema de refrigeración, como el gerente de mantenimiento, coordinador de mantenimiento y técnicos. La mano de obra no calificada son aquellos que no se involucran directamente en el proceso del sistema de refrigeración, pero que participan en labores administrativas necesarias, tales como el analista de compras y el asistente de facturación, que se encuentran en planilla.

Tabla XIII. **Mano de obra directa e indirecta**

<b>Cantidad</b>	<b>Puesto</b>	<b>Salario mensual</b>	<b>Bonificación</b>	<b>Sueldo anual</b>	<b>Bono 14</b>	<b>Aguinaldo</b>
<b>1</b>	<b>Gerente de Mantenimiento</b>	Q 8 250,00	Q 250,00	Q 102 000,00	Q 8 250,00	Q 8 250,00
<b>1</b>	<b>Coordinador</b>	Q 5 000,00	Q 250,00	Q 63 000,00	Q 5 000,00	Q 5 000,00
<b>1</b>	<b>Supervisor</b>	Q 4 250,00	Q 250,00	Q 54 000,00	Q 4 250,00	Q 4 250,00
<b>2</b>	<b>Técnicos</b>	Q 2 825,10	Q 250,00	Q 73 802,40	Q 5 650,20	Q 5 650,20
<b>1</b>	<b>Analista de compras</b>	Q 3 250,00	Q 250,00	Q 42 000,00	Q 3 250,00	Q 3 250,00
<b>1</b>	<b>Asistente facturación</b>	Q 3 250,00	Q 250,00	Q 42 000,00	Q 3 250,00	Q 3 250,00

Continuación tabla XIII.

Indemnización	Vacaciones	IGSS	INTECAP	IRTRA	TOTAL
Q 8 250,00	Q 4 125,00	Q 10 883,40	Q 990,00	Q 990,00	<b>Q 143 738,40</b>
Q 5 000,00	Q 2 500,00	Q 6 722,10	Q 600,00	Q 600,00	<b>Q 88 422,10</b>
Q 4 250,00	Q 2 125,00	Q 5761,80	Q 510,00	Q 510,00	<b>Q 75 656,80</b>
Q 5 650,20	Q 2 825,10	Q 7 874,72	Q 678,02	Q 678,02	<b>Q 102 808,86</b>
Q 3 250,00	Q 1 625,00	Q 4 481,40	Q 390,00	Q 390,00	<b>Q 58 636,40</b>
Q 3 250,00	Q 1 625,00	Q 4 481,40	Q 390,00	Q 390,00	<b>Q 58 636,40</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.2. Cambio de tuberías

Las tuberías recomendadas para este sistema son las de cobre especial para este tipo de refrigerante (R-22), con diámetro para la tubería de descarga y tubería del líquido condensado de 2 1/8 cm, para una longitud de 15 metros. En el sistema actual, las tuberías tienen problemas de fugas por malas soldaduras y obstrucción por falta de mantenimiento. Esto genera que se compre tubería para reemplazar las partes que generan algún problema.

Tabla XIV. Precio tubería

Cantidad	Tubería	Precio / unitario	Precio anual
2	2 1/8 cobre	Q 1 984,00	Q 5 952,00
15	Soldadura cobre	Q 25,00	Q 375,00
	<b>Total anual</b>	<b>Q 2 009,00</b>	<b>Q 6 327,00</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1.3. Accesorios**

Son los dispositivos secundarios en el sistema de refrigeración, pero no menos importante, ya que ayudan a proteger y supervisar de mejor forma el sistema de refrigeración. El sistema actual cuenta con los dispositivos siguientes que actúan de forma directa con el sistema de compresión:

- Válvula de servicios angulares, que permite cortar el flujo para realizar el mantenimiento que sea necesario.
- Separador de aceites ubicado en la salida de compresor. Como su nombre lo indica, separa el aceite del refrigerante. Este componente cumple una función importante en los sistemas de los supermercados, ya que el evaporador se encuentra retirado de los sistemas de compresión.
- Filtro de aceite, que es utilizado para el retorno de aceite hacia el compresor, debido a los contaminantes que puede arrastrar el aceite durante el proceso.
- Filtro de succión, que retiene los elementos contaminantes antes de su ingreso al compresor. Con esto prevenimos la suciedad y obstrucción en las partes internas del equipo.
- Válvula reguladora de presión de succión, que regula la presión y previene sobrecargas durante el arranque del compresor.

Actualmente, los accesorios mencionados generan costos, debido a que los sistemas de compresión no están trabajando correctamente por la antigüedad del mismo.

Estos costos pueden incluir cambios de filtros y de válvulas, entre otros, por lo que se realizó el cambio de estos componentes, lo que dio como resultado la cantidad de Q. 3 000,00/año.

#### **4.1.1.4. Energía eléctrica**

Como se observa en la tabla VI y VII, los consumos de los equipos de compresión actuales Copeland, se miden con base en el histórico de consumo diario, semanal, mensual y anual. El costo del consumo por kW/h está calculado con un precio fijo de Q. 1,405660 por cada kW/h.

Tabla XV. **Costo energía eléctrica del sistema actual**

<b>Compresor</b>	<b>Total semana kW/h</b>	<b>Total semana Q.</b>	<b>Total mes Q.</b>	<b>Total año Q.</b>
<b>Copeland</b>	9192	Q 12 920,83	Q 51 683,31	Q 620 199,68

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1.5. Mantenimiento**

Actualmente, el sistema involucra mayormente el mantenimiento correctivo, debido a la antigüedad de los equipos. Adicionalmente, el programa de mantenimiento preventivo está programado para cada 6 meses y, en algunos casos, cada año. Esto genera un costo de mantenimiento correctivo anual elevado, debido a la falta de prevención de fallas.

En este caso, el costo está estimado de forma anual, a través de los históricos. Estos involucran la mano de obra de los técnicos en cada reparación y cobro de servicios, carga de refrigerante, de aceite o cambio total de aceite por contaminación en el compresor y gastos varios.

Entre los gastos varios se pueden incluir reparaciones eléctricas donde se involucra directamente los compresores, reparación en el arranque del compresor o bien en la calibración de la presión, reparaciones en componentes internos de los compresores, entre otros.

Tabla XVI. **Costo de mantenimiento correctivo anual**

<b>Concepto</b>	<b>Total año Q.</b>
<b>Técnicos</b>	Q 102 808,86
<b>Falla ventilador</b>	Q 3 900,00
<b>Fuga de aceite</b>	Q 5 500,00
<b>Otras reparaciones</b>	Q 20 000,00
<b>Filtros</b>	Q 2 142,00
<b>Total</b>	Q 134 350,86

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1.6. Insumos varios**

En este rubro se incluyen todos aquellos gastos por las reparaciones involucradas en el mantenimiento correctivo que son elementos secundarios, o bien forman parte indirecta del mantenimiento pero corresponden a parte de los costos.



El 15 % de los imprevistos agregados, corresponde a todos aquellos costos que no fueron incluidos, por ejemplo, reparaciones eléctricas en equipos o en instalaciones eléctricas, cambio de repuestos de compresores, entre otros.

Tabla XVII. **Costo actual insumos varios**

<b>Concepto</b>	<b>Total año Q.</b>
<b>Mangueras</b>	Q 1 600,00
<b>Teflón</b>	Q 100,00
<b>Lijas</b>	Q 100,00
<b>papelería y útiles</b>	Q 500,00
<b>Transporte</b>	Q 8 000,00
<b>Equipo de cómputo</b>	Q 3 900,00
<b>Imprevistos 12%</b>	Q 1 704,00
<b>Total</b>	Q 15 904,00

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1.7. Refrigerante**

El refrigerante actualmente utilizado como se indica en la sección 3.4.2., es el R-22. Se debe cambiar por normativas internacionales; por ello, los equipos modernos deben estar adaptados para utilizar otros refrigerantes de menor costo. La carga del refrigerante se realiza con el tanque invertido, porque se carga en el estado líquido. Debe realizarse con sumo cuidado, ya que esto daña las válvulas y bielas del compresor. Al efectuarse de manera lenta se evita que ingrese demasiado refrigerante y no permite que se comprima lo suficiente. El mal proceso anterior ha obligado a hacer reparaciones en el compresor y que el refrigerante no pueda ser reutilizado.

Tabla XVIII. **Costo de carga de refrigerante**

Concepto	Total año Q.
<b>R22</b>	Q 23 300,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.8. **Costo total**

Se determina el costo anual del sistema actual de refrigeración, donde se incluyen los rubros calculados en las secciones anteriores. Estos datos incluyeron los costos fijos y variables, que serán comparados con los costos generados por el sistema de compresión propuesto.

Tabla XIX. **Costo total del sistema actual**

Concepto	Total año Q.
<b>Mano de obra</b>	Q 527 898,96
<b>Cambio tuberías</b>	Q 6 327,00
<b>Accesorios</b>	Q 3 000,00
<b>Energía Eléctrica</b>	Q 620 199,68
<b>Mantenimiento</b>	Q 134 350,86
<b>Insumos varios</b>	Q 16 330,00
<b>Refrigerante</b>	Q 23 300,00
<b>Total</b>	Q 1 331 406,50

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.2. Costo sistema de refrigeración propuesto**

Los costos estimados del sistema propuesto se obtienen de los datos brindados por el fabricante, así como los datos obtenidos de otros sistemas que trabajan con la marca Bitzer. Al igual que con el sistema actual, se tomará en cuenta los costos que se involucran directamente en la operación del sistema de refrigeración.

##### **4.1.2.1. Mano de obra**

Al igual que en la sección 4.1.1.1., la mano de obra está constituida por aquellas personas involucradas en todos los procesos de la organización, que devengan sueldo o salario estipulado según los contratos de trabajo. Dentro de los rubros que se involucran en la puesta en marcha del proyecto se encuentran la mano de obra calificada y la no calificada.

Para ello se tomaron en consideración los sueldos estipulados en la tabla XIII para el cálculo anual de la mano de obra de todos los involucrados de forma directa e indirecta. Estos últimos datos están contemplados en la tabla XIV. Recordemos que como mano de obra calificada se incluyen a todas aquellas personas que están en contacto directo con el proceso del sistema de refrigeración, mientras que la no calificada la constituyen las personas que no se involucran directamente en el proceso del sistema de refrigeración. El dato total de la mano de obra estimado anteriormente, es de Q. 102 808,86 anual.

#### 4.1.2.2. Tuberías

Las tuberías recomendadas para este sistema que utilizan refrigerante R-404<sup>a</sup>. Es la tubería de cobre ACR especial para sistemas de refrigeración, con diámetro para la tubería de descarga y tubería del líquido condensado de 2 1/8 cm, para una longitud de 15 metros. Las tuberías en el sistema actual tienen problemas de corrosión u obstrucción. Esto genera que se realicen compras de tubería para reemplazar las partes que generan algún problema.

Sin embargo, actualmente se unen las soldaduras a través de presión. Se dilata una de las partes y se asegura con un acople para evitar problemas de fuga en el futuro. Esta opción resulta más económica porque evita malas soldaduras y que deba realizarse este trabajo.

Tabla XX. Precio tubería

Cantidad	Tubería	Precio/unitario	Precio 15 m
3	2 1/8 cobre	Q 1 984,00	Q 5 952,00
4	Acoples	Q 23,00	Q 92,00
	<b>Total anual</b>	Q 2 007,00	Q 6 044,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.3. Accesorios

Los cambios accesorios para el sistema de compresión propuesto están enfocados en elementos como codos de 90° que estén dañados, válvula, filtros y otros que necesiten ser cambiados por desgaste.

Sin embargo, se estima que el mantenimiento correctivo que han tenido los equipos y los cambios de accesorios que se han generado, permitirá que no exista un costo elevado en cambios de estos requerimientos. Dichos gastos pueden ser de aproximadamente Q. 1 000,00/año.

#### **4.1.2.4. Energía eléctrica**

Como se observa en la tabla VI y VII, los consumos de los equipos de compresión actuales Copeland, se miden con base en el histórico de consumo diario, semanal, mensual y anual. El costo del consumo por kW/h está calculado con un precio fijo de Q. 1,405660 por cada kW/h.

Tabla XXI. **Costo energía eléctrica del sistema actual**

<b>Compresor</b>	<b>Total semana kW/h</b>	<b>Total semana Q.</b>	<b>Total mes Q.</b>	<b>Total año Q.</b>
<b>Bitzer</b>	7374	Q 10 365,34	Q 41 461,35	Q 497 536,17

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.2.5. Mantenimiento**

Para el sistema propuesto se recurrirá a mantenimiento preventivo, que constará de supervisiones cada dos semanas, mensuales y anuales, con la finalidad de llevar un mejor control de los equipos y evitar costos innecesarios por mantenimientos correctivos excesivos.

Figura 10. **Plan de mantenimiento**

Fecha					
Punto de venta					
Mes	SEMANA		MES	ANUAL	OBSERVACIONES
	2	4			
Ene	RPT	RPT	FL		
Feb	RPT	RPT	FL		
Mar	RPT	RPT	FL		
Abr	RPT	RPT	FL		
May	RPT	RPT	FL		
Jun	RPT	RPT	FL	BC	
Jul	RPT	RPT	FL		
Ago	RPT	RPT	FL		
Sep	RPT	RPT	FL		
Oct	RPT	RPT	FL		
Nov	RPT	RPT	FL		
Dic	RPT	RPT	FL		
R	Nivel del refrigerante				
P	Presión de entrada y salida al compresor				
T	Temperatura de entrada y salida al compresor				
F	Funcionamiento del compresor				
L	Lubricación del compresor				
B	Revisión de tuberías				
C	Busqueda de corrosión				

Fuente: elaboración propia.

Los mantenimientos correctivos se realizarán de acuerdo a lo evidenciado en las supervisiones preventivas. Con ello se generarán órdenes de trabajo autorizadas, con los que se llevará un control organizado de las veces que se ha incurrido en la misma falla.

Tabla XXII. **Costo por mantenimiento preventivo**

Concepto	Total año Q.
<b>Técnicos</b>	Q 102 808,82

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.6. Insumos varios

Son todos aquellos elementos que serán utilizados en la instalación del sistema propuesto. Para estos rubros similares a los del sistema antiguo, se estimó un 12 % de imprevistos que cubrirán gastos que no hayan sido contemplados y no generen un alza en el costo estimado.

Tabla XXIII. Costo propuesto insumos varios

Concepto	Total año Q.
Mangueras	Q 1 600,00
Teflón	Q 100,00
Lijas	Q 100,00
papelería y útiles	Q 500,00
Transporte	Q 8 000,00
Equipo de cómputo	Q 3 900,00
Imprevistos 12 %	Q 1 704,00
Total	Q 15 904,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.7. Refrigerante

El refrigerante R404a es más amigable con el medio ambiente y está autorizado para trabajar los compresores Bitzer. Al momento de administrar el refrigerante a los compresores se debe asegurar que no existan fugas por roturas provocadas durante el montaje. Se deben extraer los posibles residuos que se generaron en la instalación y aplicar un aditivo para que no se adhieran partículas contaminantes. El refrigerante debe ser introducido de manera lenta para asegurar las temperaturas correctas del sistema y evitar daño en los componentes internos de los compresores.

Tabla XXIV. **Costo refrigerante propuesto**

Concepto	Total año Q.
<b>R404a</b>	Q 20 400,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.8. **Costo total**

Se determina el costo anual del sistema propuesto de refrigeración, donde se incluyeron los rubros calculados en las secciones anteriores, incluyendo los costos fijos y variables que están relacionados con la instalación estimada de los compresores.

Tabla XXV. **Costo total del sistema propuesto**

Concepto	Sistema propuesto
<b>Mano de obra</b>	Q 527 898,96
<b>Cambio tuberías</b>	Q 6 044,00
<b>Accesorios</b>	Q 1 000,00
<b>Energía Eléctrica</b>	Q 497 536,17
<b>Mantenimiento</b>	Q 102 808,86
<b>Insumos varios</b>	Q 15 904,00
<b>Refrigerante</b>	Q 20 400,00
<b>Total</b>	Q 1 171 591,99

Fuente: elaboración propia.



#### 4.1.3. Análisis de costos

Se hará comparación de los costos calculados del sistema actual y el sistema propuesto.

Tabla XXVI. Análisis comparativo de costos anuales

Concepto	Sistema actual Copeland	Sistema propuesto Bitzer
<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>Q 80 000,00</b>	<b>Q 75 000,00</b>
<b>Mano de obra</b>	Q 527 898,96	Q 527 898,96
<b>Cambio tuberías</b>	Q 6 327,00	Q 6 044,00
<b>Accesorios</b>	Q 3 000,00	Q 1 000,00
<b>Energía Eléctrica</b>	Q 620 199,68	Q 497 536,17
<b>Mantenimiento</b>	Q 134 350,86	Q 102 808,86
<b>Insumos varios</b>	Q 16 330,00	Q 15 904,00
<b>Refrigerante</b>	Q 23 300,00	Q 20 400,00
<b>Total</b>	<b>Q 1 411 406,50</b>	<b>Q 1 246 591,99</b>
<b>Diferencia</b>	<b>Q 164 814,51</b>	
<b>Ahorro energético</b>	<b>20 %</b>	
<b>Ahorro general</b>	<b>12 %</b>	

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la tabla XXVII el costo total del sistema actual es mayor al costo total del sistema propuesto con una diferencia de Q. 159 814,51, que representan un ahorro del 12 % del total de los costos anuales. Esta diferencia es a favor del sistema propuesto para los compresores Bitzer, presentando un ahorro energético del 20 %, en este punto, el sistema propuesto genera resultados positivos.

#### **4.1.4.      Financiamiento del proyecto**

Es necesario conocer para todo proyecto aplicado en cualquiera de las entidades privadas o públicas, el provenir de su financiamiento, se debe conocer si estos fondos serán propios, a través de inversionistas o bien provenientes de alguna fuente de financiamiento.

Para este caso, el proyecto será financiado por los fondos propios de la empresa, incluidos en el presupuesto anual del departamento de mantenimiento.

#### **4.2.        Estudio financiero**

Este punto es una parte fundamental del proyecto. Se analizará la viabilidad, se tomarán las decisiones de rechazo o aceptación del mismo, partiendo de datos financieros con los que se verificarán los riesgos y permitirán analizar si el proyecto puede generar ganancia o pérdida en un tiempo determinado.

##### **4.2.1.      Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)**

Es el porcentaje de rentabilidad de la inversión que se espera obtener por sobre la tasa de inflación, es decir, el beneficio que se espera obtener del proyecto, o bien, el mínimo beneficio aceptable a obtener por la inversión. Podemos definir la tasa mínima de rendimiento como:

$$TMAR = \text{tasa de inflación} + \text{prima al riesgo}$$

Se define como prima al riesgo, la ganancia total que el inversionista percibirá sobre la tasa de inflación. La tasa de inflación acumulada en Guatemala durante el año 2019, fue de 2,8 % y por esta razón se define que la TMAR para fines de este proyecto, será de 12,8 %

#### **4.3. Métodos de evaluación**

Estos nos permiten estimar la rentabilidad y el tiempo estimado de recuperación de la inversión del proyecto, que hacen posible la toma de decisiones. Dentro de ellos estimaremos el valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación del proyecto.

##### **4.3.1. Valor presente neto (VPN)**

Para calcular del valor presente neto es necesario conocer el flujo de efectivo. Este representa la diferencia entre beneficio y costo de la inversión. Los criterios de aceptación de un proyecto a través del VPN se definen como:

- $VPN < 0$ : el proyecto debe rechazarse, debido a que solamente se obtienen pérdidas
- $VPN > 0$ : el proyecto puede aceptarse, debido a que se producen ganancias
- $VPN = 0$ : el proyecto no tiene pérdidas ni ganancias, por lo que la decisión de invertir en el mismo, se debe realizar tomando en cuenta los beneficios que se obtendrá del proyecto

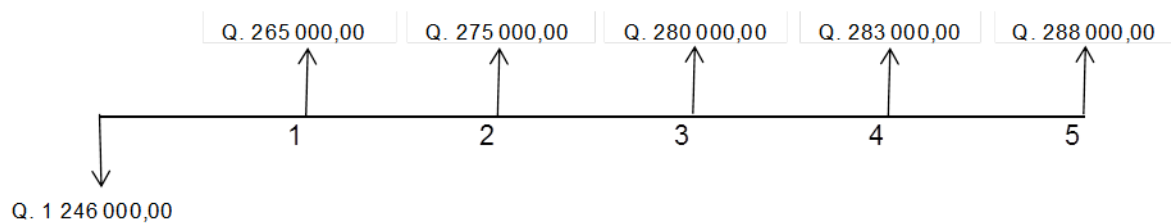
El flujo de efectivo para los próximos años indicado a través de la ganancia neta se describe de la siguiente manera:

Tabla XXVII. **Flujo de efectivo**

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Utilidad neta	Q 265 000,00	Q 275 000,00	Q 280 000,00	Q 283 000,00	Q 288 000,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Gráfica flujo de efectivo**



Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto tenemos el VPN de la siguiente manera:

$$VPN = -1\,246\,000 + \frac{265\,000}{1 + 0,128} + \frac{275\,000}{(1 + 0,128)^2} + \frac{280\,000}{(1 + 0,128)^3} + \frac{283\,000}{(1 + 0,128)^4} + \frac{288\,000}{(1 + 0,128)^5}$$

$$VPN = Q. 696\,350,90$$

Hasta este punto, según el VPN resultante, el proyecto puede ser aceptado, ya que el cálculo refleja que  $VPN > 0$ . Según en los criterios de aceptación, este generaría ganancia.

#### **4.3.2. Tasa interna de retorno (TIR)**

Es la tasa que busca que el VPN sea igual a cero, es decir, es la tasa de rendimiento anual donde el proyecto le devuelve al inversionista sobre el valor total del financiamiento. Bajo este concepto, se tiene los siguientes criterios de aceptación:

- $TIR < TMAR$ : el proyecto no es rentable, debido a que el rendimiento obtenido no cubre el costo invertido.
- $TIR > TMAR$ : el proyecto es rentable, debido a que el rendimiento obtenido es mayor al costo invertido; entre mayor sea el resultado de la TIR se percibe mayor rentabilidad.
- $TIR = TMAR$ : el proyecto cubre el costo invertido, sin obtener rendimiento o pérdida del mismo.

$$0 = -1\,246\,000 + \frac{265\,000}{1 + TIR} + \frac{275\,000}{(1 + TIR)^2} + \frac{280\,000}{(1 + TIR)^3} + \frac{283\,000}{(1 + TIR)^4} + \frac{288\,000}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 48$$

Se determina que la  $TIR > TMAR$ , por lo tanto, la rentabilidad supera el valor del costo del proyecto.

#### 4.3.3. Tiempo de recuperación de la inversión

Conociendo la TIR podemos saber en cuánto tiempo recuperamos la inversión del proyecto. Lo calculamos de la siguiente manera:

$$\frac{\text{costo de inversión} + \text{total TIR}}{n}$$

Donde:

- total TIR: valor de recuperación sobre el costo de inversión.
- n: tiempo estimado para recuperación de la inversión sobre el flujo de efectivo.

$$\frac{1\,246\,000 + 598\,000}{5}$$

Total = Q. 368 816,00

- año 1 = Q. 368 816,00
- año 2 = Q. 737 632,00
- año 3 = Q. 1 106 448,00
- año 3.5 = Q. 1 290 856,00

La inversión del proyecto se recuperará en 3,5 años y el valor obtenido será de Q. 1 290 000,00.

#### 4.4. Análisis de resultados

Al concluir los cálculos de la evaluación financiera se procede a realizar los análisis respectivos, con los que se concluye la viabilidad definitiva del proyecto.

Tabla XXVIII. **Resultados financieros**

Concepto	Resultado	Análisis
<b>TMAR</b>	12,80 %	TMAR > tasa de inflación
<b>VPN</b>	Q. 696 350,90	VPN > 0
<b>TIR</b>	48 %	TIR > TMAR

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados financieros obtenidos, se recomienda la aceptación del proyecto.





## **5. IMPACTO AMBIENTAL**

### **5.1. Contaminación por lubricantes**

La contaminación provocada por los lubricantes utilizados en el sistema de refrigeración se puede originar por el incorrecto manejo de estos. Es importante conocer los riesgos de estos elementos antes de su utilización, con la finalidad de mitigar los riesgos y dar la capacitación correcta a nuestro equipo, para evitar el mal manejo y adaptar las medidas preventivas de seguridad que minimicen el riesgo potencial al medio ambiente.

Las siguientes son recomendaciones para reducir el riesgo de contaminación ambiental producida por los lubricantes POE utilizados para el sistema de refrigeración:

- Reciclar los aceites que ya no serán utilizados o los que ya no cumplen con las características para su buen funcionamiento (aceites quemados), para que puedan ser reutilizados en otro tipo de industrias, por ejemplo la elaboración de asfalto o que puedan ser reprocesados y recuperar las bases de los lubricantes.
- No se debe reutilizar los lubricantes para consumo animal, vegetal o humano.
- No verter el lubricante usado que sirva para evitar el levantamiento de polvo en caminos de tierra o asfaltados.

- No verter en drenajes pluviales o cauces de agua, ya que no se disuelven en su totalidad y no son 100 % biodegradables.
- Evitar combustión indiscriminada que emita gases contaminantes a la capa de ozono, así como la emisión de partículas en el aire, que puede provocar problemas serios de salud.
- No verter en terrenos baldíos o barrancos. El suelo puede resultar contaminado y dar como resultado la contaminación en ríos, tierras para cultivos y océanos

#### **5.1.1. Almacenamiento**

El almacenamiento es muy importante para el manejo correcto de los lubricantes.

Con ello evitamos la contaminación por fugas en recipientes y el riesgo a la salud e integridad de los colaboradores. Se debe atender las siguientes recomendaciones:

- Almacenar en áreas ventiladas, libres de calor, exposición al sol.
- El almacén debe estar construido con materiales no combustibles.
- Utilizar puertas de metal, ya que estas no son combustibles.
- Mantener debidamente identificado el almacén con acceso restringido a personas autorizadas para la correcta manipulación de los lubricantes.

- El área de almacenamiento debe contar con trampas alejadas de desagües y tuberías de distribución de agua potable. Estas funcionan en caso de derrames ya que evitan serios problemas de contaminación y sirven para recuperar parte del producto, de ser necesario.
- No colocar los lubricantes en contenedores de almacenamiento subterráneo.
- El piso no debe ser absorbente para evitar el riesgo de contaminación del suelo y fuentes subterráneas de agua.
- Almacenar lejos de otros componentes químicos oxidantes.

#### **5.1.2. Manejo correcto de los lubricantes**

Se debe contar con personal capacitado, que conozca los peligros de los lubricantes en las personas y cómo afectan su salud, así como el daño que provoca en el medio ambiente. Al igual que para los puntos anteriores, las recomendaciones en cuanto al manejo deben ser expuestas a los colaboradores que tienen acceso a dicho material; por ello se hacen las siguientes recomendaciones:

- No perforar, soldar, presurizar, exponer al calor, a electricidad o chispas, los recipientes que contienen los lubricantes.
- Mantener alejados de fuentes de ignición y sistemas eléctricos inseguros.
- Tener un inventario de almacenamiento mínimo, para evitar almacenar en lugares no autorizados, por falta de espacio.

- Disponer de extintores de polvo químico seco o químico húmedo que eviten la propagación de incendios. Evitar utilizar agua para extinguir el fuego y que los residuos puedan ser enviados a los drenajes.
- Mantener el área de almacenamiento seca, para que no existan problemas de corrosión de contenedores.
- Colocar los recipientes en estructuras seguras, que no tengan riesgo de caída por vibración y sean estables ante movimiento telúricos.
- No mezclar los lubricantes con otros componentes químicos, ya que se pueden convertir en elementos altamente tóxicos.
- Contar con equipo de emergencia adecuado, como por ejemplo con barreras de poliuretano en caso de derramamientos que cierren el paso del lubricante a fuentes de agua o drenajes.
- Mantener los lugares frescos y con suficiente ventilación.

## **5.2. Análisis de contaminación del refrigerante**

El refrigerante, es el elemento del sistema que puede ser contaminante si no se tienen las medidas adecuadas de manejo y prevención. El uso del refrigerante R-22 está prohibido a nivel mundial según el convenio de Viena, los protocolos de Montreal y de Kioto. Por ello se recomienda la suspensión del uso en los sistemas de refrigeración instalados. El refrigerante R-22 contiene como elemento químico el cloro (Cl), uno de los responsables de la destrucción de la capa de ozono y el efecto invernadero.

La contaminación del refrigerante se debe mayormente a fugas en los contenedores por el daño en válvulas; también cuando se transfiere el refrigerante en los equipos de manera inadecuada y provoca escape de partículas de gas al medio ambiente. Estas no se disipan y permanecen en la capa de ozono por espacio de 15 años.

### 5.2.1. Regulación y manejo

En Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales prohibió el uso de refrigerantes que contiene clorofluorocarbonos (CFC's) utilizados en aire acondicionado doméstico y automóviles, equipos de refrigeración doméstico, industriales, comerciales y para transporte de producto congelado; así mismo, los refrigerantes a base de bromuro de metilo, utilizado en el control de plagas, entre otros.

Tabla XXIX. **Tabla de refrigerantes prohibidos en Guatemala**

Tipo	Número R	Fórmula Química	PAO	PCG en 100 Años	Grupo de Seguridad
CFC	R-11	CFC-11 / CCl <sub>3</sub> F	1	4,750	A1
CFC	R-113	CFC-113 / CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	1	6,130	A1
CFC	R-114	CFC-114 / CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	1	10,040	A1
CFC	R-115	CFC-115 / CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	0,44	7,370	A1
CFC	R-12	CFC-12 / CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1	10,890	A1
CFC	R-13	CFC-13 / CClF <sub>3</sub>	1	14,420	A1
CFC	R-400	R-12/114 (50,0/50,0)	1	10,000	A1
CFC	R-500	R-12/152a (73,8/26,2)	0,738	8,100	A1
CFC	R-502	R-22/115 (48,8/51,2)	0,25	4,700	A1
CFC	R-503	R-23/13 (40,1/59,9)	0,599	15,000	A1

Fuente: Gobierno de Guatemala. *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. ([https://www.marn.gob.gt/s/viena-montreal/paginas/CFC\\_Prohibidos](https://www.marn.gob.gt/s/viena-montreal/paginas/CFC_Prohibidos)). Consulta: 20 de diciembre 2019.

En Guatemala las empresas que distribuyen y manejan los refrigerantes deben ser entidades previamente autorizadas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, según el Decreto 34-89. Así mismo, los técnicos deben contar con dicha autorización, ya sea que trabajen de forma individual o a través de empresas proveedoras.

En sustitución del refrigerante R-22 se recomienda el R404a, como se indicó en el inciso 3.4.2. Con este se reducen las emisiones del cloro a la capa de ozono y contribuyen a la disminución del efecto invernadero. Sus efectos de combustión se reducen en comparación al R-22.

El refrigerante R-404a, reduce en un 40 % las partículas de dióxido de carbono a la atmósfera. En el manejo de este refrigerante se debe considerar los siguientes puntos importantes:

- Tiene un aroma similar al éter, por lo que debe almacenarse en lugares ventilados.
- Debe ser almacenado en lugares frescos, aislados de lugares cercanos a calderas, equipos eléctricos, aislado de la exposición solar.
- Evitar fumar o soldar los contenedores, ya que es un producto inflamable.
- No es un material 100 % biodegradable, por ello, no debe verterse en desagües o suelos, que puedan contaminar aguas subterráneas, ríos, lagos, océanos

- Los contenedores, no deben ser perforados. Se debe revisar que las válvulas se encuentren en buenas condiciones para disminuir el riesgo de fuga a la atmósfera.
- La carga del refrigerante a los equipos de refrigeración se debe realizar de acuerdo a lo establecido en el inciso 4.1.2.7. Se debe verificar que todas las válvulas por donde se introduce el elemento queden selladas, para evitar las fugas del gas hacia la atmósfera.

### **5.2.2. Propiedades físicas**

La mezcla ternaria del refrigerante R-404<sup>a</sup>, como se observa en la tabla XXX, resulta inocuo para la capa de ozono, sobre todo en la aplicación de sistemas de refrigeración de baja y media temperatura, como es nuestro sistema de compresión recomendado. Además reduce el potencial de efecto invernadero y las emisiones de carbono.

Tabla XXX. **Propiedades físicas del refrigerante R404a**

PROPIEDADES FÍSICAS		R404A
Mezcla Ternaria		R125 / R143A / R134A
Composición	(%)	44 / 52 / 4
Peso molecular	(Kg/Kmol)	97.61
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.7
Deslizamiento (Glide)	(°C)	0.5
Temperatura crítica	(°C)	73
Presión crítica	(bar)	37.35
Densidad crítica	(Kg/m <sup>3</sup> )	485
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/l)	1.05
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/l)	1.24
Densidad del vapor	(Kg/m <sup>3</sup> )	5.3
Tensión del vapor (25°C)	(bar)	12.8
Tensión del vapor (-25°C)	(bar)	2.8
Calor latente de evaporación	(KJ/Kg)	199
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mK)	0.064
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mK)	0.0143
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	650
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% vol)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP		0

Fuente: Serve. *Ficha Técnica R404a. p. 1.*

### 5.2.3. Temperatura de saturación

La temperatura de saturación es donde se lleva a cabo la ebullición del líquido. Para este caso, es importante conocer la temperatura de saturación, porque si agregamos una temperatura mayor, el refrigerante se puede volver vapor. Si se aplica una temperatura menor, este tiende a condensarse.

Cuando el refrigerante tiende a tener temperaturas muy elevadas, existe una descomposición en sus componentes, importante para el proceso de reciclaje que se verá más adelante. Su punto de ebullición se encuentra entre -46 °C y -79 °C a una presión de 1 013 bar.



#### 5.2.4. Toxicidad

La descomposición del refrigerante por exposición térmica, resulta un producto químico altamente nocivo y corrosivo. La exposición al refrigerante R-404a es poco tóxica; sin embargo, en altas dosis, el producto puede producir asfixia.

Tabla XXXI. Toxicidad refrigerante 404a

PROPIEDADES FISICAS	R404A
Toxicidad (AEL) (ppm)	1000
ODP	0

Fuente: Serve. *Ficha Técnica R404a*. p. 1.

En la tabla XXI se puede observar que la toxicidad del refrigerante 404a es de 1 000 ppm; es decir, 1 000 partes de volumen de refrigerante por cada millón de partes de volumen de aire. Es un volumen bajo en contaminación.

#### 5.2.5. Almacenamiento

Para el almacenamiento del refrigerante se recomienda:

- Capacitar al personal autorizado, quienes serán los responsables de la manipulación del refrigerante.
- No estibar los contenedores del refrigerante; estos deben permanecer almacenados a nivel del suelo.

- Mantener las zonas de almacenamiento debidamente ventiladas.
- No exponer a lugares calientes o con exposición solar.
- No almacenar a la intemperie.
- Verificar que los contenedores se encuentren en buenas condiciones. Como se mencionó, el refrigerante R-404a se encuentra en estado líquido.
- No almacenar cerca de tendido eléctrico y fuentes de aire acondicionado.
- El almacén debe estar alejado de áreas donde se genere vapor.
- No fumar cerca del lugar de almacenamiento.
- No estibar los contenedores, uno sobre otro.
- Mantener una temperatura de almacenamiento  $< 45^{\circ}\text{C}$ .
- Colocar los contenedores en espacio que tenga contacto a tierra en caso de generación de estática.
- El refrigerante R-404a se almacena en contenedores de manera comprimida.

### **5.2.6. Recuperación**

Debido al cambio de refrigerante R22 al R404a, se debe recuperar el refrigerante que ya no será utilizado y aún se encuentra dentro del sistema de refrigeración.

Esto se debe realizar con un técnico autorizado por el Ministerio de Ambiente, quien deberá almacenar el refrigerante sustraído en contenedores específicos para esta tarea. Este proceso puede realizarse de la siguiente manera:

Por tratarse de compresores reciprocantes, el refrigerante se encuentra en el sistema de refrigeración en su estado gaseoso. El resto de refrigerante que se encuentra en estado líquido se extrae convirtiéndolo en vapor por medio de la aplicación de calor, mediante medidas de seguridad realizadas por el técnico autorizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

La extracción se realiza con la ayuda de una máquina de recuperación, si esta no tiene la opción de convertir en vapor el refrigerante, la extracción del líquido se realiza por decantación o separación.

Este último llamado *push/pull*, consiste en empujar, con el vapor contenido en el cilindro, el líquido almacenado. Se conecta una manguera por donde saldrá el refrigerante líquido, otra en la válvula de vapor y una última en la salida de la máquina de recuperación hacia la válvula de vapor, cerrando el circuito.

Tabla XXXII. **Colores de los contenedores de refrigerantes**

Número del refrigerante	Color	PMS
R-11	naranja	21
R-12	blanco	
R-13	azul claro/ banda azul oscuro	2975
R-22	verde	352
R-123	gris claro plata	428
R-134a	azul claro celeste	2975
R-401a	rojo-rosado (coral)	177
R-401B	amarillo-café (mostaza)	124
R-402A	café claro (arena)	461
R-402B	verde (aceituna)	385
R-404A	naranja	21
R-407C	gris	
R-500	amarillo	109
R-502	morado claro (orquídea)	251
R-503	azul verde (acqua)	3268
R-507	marrón	167
R-507	plata	877

Fuente: Correa & Cárdenas. *Refrigerante conociendo los códigos*.

<https://www.refrigeracioncyc.com/refrigerantes-conociendo-codigos/>. Consulta: 6 de enero 2020.

### 5.2.7. **Reciclaje de refrigerante**

En Guatemala existen empresas que se dedican al reciclado del refrigerante. Hacen un proceso de regeneración de los gases para su reutilización en otros equipos.

Esta regeneración se realiza con la separación del aceite, eliminación de la humedad, de la acidez y de las partículas que no son condensables. Este proceso puede ser realizado para el refrigerante R-404a propuesto para su utilización. Para el caso del refrigerante R22, debido a la prohibición de su uso, no puede ser reciclado sino destruido. Este proceso consta en pasar el refrigerante por calor en horno a temperatura superior a los 1 200 °C y generar una primera combustión. Posteriormente se traslada a un contenedor que también se encuentra en condiciones de temperatura mayores a los 1 200 °C, y se genera una segunda combustión dentro del contenedor.

Los vapores generados en las combustiones son sometidos a un abrupto descenso de temperatura con la ayuda de nitrógeno y posteriormente con agua. Se genera acidez líquida que es neutralizada por medio de sales minerales. Estos refrigerantes destruidos son almacenados en contenedores color verde para su identificación, y los datos deben ser notificados al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Con este proceso se contrarresta el efecto ambiental negativo causado por la liberación del refrigerante, causante del efecto invernadero, calentamiento global y daño a la capa de ozono.

#### **5.2.8. Identificación de impactos**

Para la identificación de impactos es necesario verificar los riesgos que se corren con la puesta en marcha del sistema de refrigeración, ya que son los que en gran medida nos indican qué impacto tendrán sobre el medio ambiente. Por eso debemos tener un plan de contingencia para los riesgos o vulnerabilidades que se puedan presentar en el sistema, tal como se muestra en la tabla XXXIII, donde se observan las acciones preventivas y reactivas.

Tabla XXXIII. Plan de contingencia

Amenaza	Vulnerabilidad	Acciones	
		Preventivas	Reactivas
Fugas	contaminación de suelos, vertientes de agua y capa de ozono	capacitación continua a los colaboradores y cumplimiento del manejo adecuado de las sustancias, no almacenar en exteriores, mantener las válvulas de contenedores cerradas, inspecciones continuas del lugar de almacenamiento y contenedores conectados a los sistemas de refrigeración, verificar el estado de los contenedores, no almacenar cantidades excesivas de producto	salvaguardar la integridad de los colaboradores, identificar la procedencia de la fuga o derramamiento, aislar la zona inmediatamente, contactar con personal autorizado para conocer los pasos a seguir en caso de incendio o riesgo de explosión, limpiar inmediatamente la zona donde se encuentra el material derramado o disperso, entregar el material contaminado autorizado por el Ministerio de Ambiente, de acuerdo a la normativa vigente
Explosión	riesgo de integridad física, exposición de partículas hacia la atmósfera		
Incendio	riesgo de integridad física, exposición de partículas hacia la atmósfera, explosión		

Fuente: elaboración propia.

Una primera definición del impacto ambiental son las actividades humanas que pueden provocar un efecto positivo o negativo sobre el ambiente; la segunda definición podría basarse en los resultados sobre el medio ambiente de una actividad humana y las posibles consecuencias o beneficios de realizar o no dicha actividad.

Se establecen los daños según los conceptos: carácter (si tiene beneficio o perjudica al ambiente); importancia (alto contaminante en recursos naturales); ocurrencia (riesgo de que no desaparezca el daño); duración en el ambiente (largo plazo  $\geq 100$  años, mediano plazo 25 a 99 años, corto plazo  $< 25$  años).

Como podemos observar en la tabla XXIV, el impacto negativo del refrigerante R-22 se encuentra por encima del impacto del refrigerante R-404a.

Figura 12. **Ponderaciones de los daños**

Importancia		Duración en ambiente	
alta	2	largo plazo	2
media	1	mediano plazo	1
baja	0	corto plazo	0
Carácter		Ocurrencia	
negativo	-1	riesgo alto	2
neutro	0	riesgo medio	1
positivo	1	riesgo bajo	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Comparativo de impactos en refrigerantes**

	Refrigerante	
	R22	R404a
Importancia	2	0
Duración en ambiente	2	1
Carácter	-1	-1
Ocurrencia	2	1
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Contaminación auditiva

Contaminación auditiva es el nivel de ruido que sobrepasa los decibeles permitidos en la normativa. Se considera contaminante cuando produce efectos negativos en la salud física y psicológica de las personas a su alrededor.

En este caso en particular, la vibración excesiva de los equipos compresores puede causar contaminación auditiva. Según el acuerdo Com-3-2-2012, artículo 6 del Consejo Municipal de Guatemala, los decibels máximos permitidos son:

- Horario diurno de 6:01 – 22:00 horas, 65 dBA
- Horario nocturno de 22:01 – 6:00 horas, 40 dBA

Tabla XXXV. **Comparación auditiva**

<b>Mediciones</b>	<b>dBA</b>	
	<b>Copeland</b>	<b>Bitzer</b>
1	86	65
2	88	68
3	89	66
4	71	65
5	76	65

Fuente: elaboración propia.

La comparación auditiva, muestra en 5 mediciones tomadas en diferentes horarios, que los compresores Copeland generan una mayor cantidad de contaminación auditiva en comparación de los compresores Bitzer, que se encuentra dentro del margen permisible.

La medición del ruido se realizó con la ayuda de un decibelímetro. Sus puntos de medición se encuentran dentro del perímetro de los equipos instalados.



Figura 13. **Decibelímetros utilizados**



Fuente: elaboración propia.

#### **5.4. Medidas de prevención y mitigación**

Las medidas de prevención son las que evitan riesgos y los efectos producidos tanto por los refrigerantes como por los lubricantes. Las medidas de mitigación, son los que minimicen los impactos.

La calificación tanto para la medida de prevención, como para la medida de mitigación, se establece bajo una ponderación donde:

- El 3 genera efecto positivo, 2 medianamente positivo y 1 no genera ningún efecto.

Tabla XXXVI. **Medidas ambientales**

IMPACTOS	SUSTANCIA	MEDIDAS	CLASIFICACIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN		
				Financiero	Ambiental	TOTAL
Contaminación del agua	Refrigerante	Controles estrictos por derramamientos	Prevención	2	3	5
	Lubricante	Trampas instaladas en almacén y en el sistema de refrigeración	Prevención	2	3	5
Contaminación de ozono	Refrigerante	Evitar fugas	Prevención	3	3	6
		Reciclado de refrigerante	Prevención	3	3	6
Contaminación agua, suelo y ozono	Lubricante	Evitar multas por incumplimiento y generación de manuales de manejo adecuado	Mitigación	3	3	6
	Refrigerante	Evitar multas por incumplimiento y generación de manuales de manejo adecuado	Mitigación	3	3	6
Mejora en manipulación	Lubricante	capacitaciones al personal	Seguimiento	2	3	5
		controles de las áreas de almacenamiento	Seguimiento	1	3	4
	Refrigerante	capacitaciones al personal	Seguimiento	2	3	5

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La capacidad del sistema de compresión para satisfacer la carga térmica de la cámara frigorífica debe ser de 95 HP. Esto significa que se debe utilizar 3 compresores de temperatura media de 32 HP cada uno y una capacidad de 23 350 W para cada uno de ellos.
2. Se reflejó en análisis técnico que la mejor opción de los equipos compresores son los de la marca Bitzer. Estos cumplen con la capacidad térmica de la cámara frigorífica al ofrecer una capacidad de 24 200 W. En el estudio se determinó que el sistema de compresión actual, ya no cubre las necesidades de trabajo del sistema de refrigeración.
3. La base de hormigón construida para el sistema de compresión actual, cumple con requerimiento de vibración y carga generadas por el sistema de compresión Bitzer. El anclaje debe realizarse con pernos de acero de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro y fijar los equipos sobre la base.
4. El análisis de costo muestra un ahorro del 12 % de los costos generales en el sistema Bitzer en comparación con el sistema Copeland que está actualmente instalado. Además cuenta con un ahorro energético anual del 20 %, que contribuye a la generación de ganancia de los puntos de venta.

5. Al evaluar la rentabilidad del cambio de compresores, a través de los métodos VPN y TIR, los resultados fueron de carácter satisfactorio, ya que se obtuvo un VPN de Q. 696 350,90 y una TIR del 48 %, lo cual indica que el cambio será rentable. El tiempo de recuperación de la inversión, se estima en 3,5 años, menor al tiempo propuesto que fue de 5 años, por lo que el proyecto puede ser aceptado.
6. El impacto ambiental por el sistema propuesto no genera riesgos ambientales considerables, ya que el refrigerante y los lubricantes utilizados disminuyen el efecto negativo sobre la capa de ozono y efecto invernadero. También se incluyen medidas preventivas para maximizar el aprovechamiento de estos sistemas de compresión sin generar efectos adversos en el medio circundante.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar el proyecto, ya que se demostró que es económicamente rentable y se están modernizando los equipos. Es una oportunidad de aumentar las ganancias durante los años posteriores al tiempo de recuperación de la inversión.
2. Establecer y cumplir con programas de capacitación para el mantenimiento de los equipos, para prolongar su vida útil y reducir los mantenimientos correctivos anuales.
3. Para los montajes de los equipos se debe tomar en cuenta factores externos, por ejemplo, la ubicación de los puntos de venta para el correcto traslado y recepción de los equipos.
4. Realizar el cambio del refrigerante R-22 antes de la fecha establecida obligatoria en el 2021, para evitar atrasos y la emisión de contaminantes en el ambiente, y poner en funcionamiento los equipos con el refrigerante R-404a.
5. Verificar el correcto manejo de los costos, que evitará que se eleven y afecten la ganancia de operación de los puntos de venta. Es importante brindar el seguimiento continuo para no afectar el flujo de efectivo.

6. Brindar seguimiento a los programas de capacitación del manejo de desechos y productos contaminantes, cumpliendo con los procesos de manejo y mitigación de daños al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BANCES AGUILAR, Edgar Raúl. *Diseño del programa de mantenimiento para equipo de refrigeración en la unidades del Ministerio de Salud y Asistencia Social en el área metropolitana*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 182 p.
2. CENGEL, Yunes A.; BOLES, Michael A. *Termodinámica un aprovechamiento de la energía*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2011. 999 p.
3. DOSSAT, Roy J. *Principios de refrigeración*. México: Cecsa, 2001. 595 p.
4. GARCIA, Santiago. *Mantenimiento correctivo, organización y gestión de la reparación de averías*. España: Renovetec, 2009. 230 p.
5. Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. México: Prentice Hall, 1994. 98 p.
6. ISAZA RONDÁN, Cesar Alejandro. *Estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes*. Trabajo de graduación de Maestría en Ingeniería Ambiental. Escuela de Ingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, 2012. 247 p.

7. LELAND T., Blank; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2012. 611 p.
8. LÓPEZ LÓPEZ, Ángel Daniel. *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de pods de café*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 144 p.
9. SALAVERRÍA CORZANTES, Jackeline del Rosario. *Sistema de recuperación de refrigerantes*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 167 p.
10. TUQUER HERNÁNDEZ, Wiston. *Montaje de equipo de refrigeración mecánico por compresión de amoníaco con una capacidad de 33 toneladas de refrigeración utilizado para absorber el calor de la solución que se usa en la elaboración de bebidas gaseosas de la empresa Tropic*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 160 p.
11. WARK, Kenneth Jr. *Termodinámica*. 5a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1987. 800 p.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Control de mantenimiento preventivo

#### Ficha de Mantenimiento Preventivo

Tienda: \_\_\_\_\_

Mensual		Determinante de tienda		Date last completed					
Componente	Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun		
Compresor	Revisión de componentes, fugas, revisión de indicadores								
Condensador	purga de líquido por condensado en el sistema.								
Nivel de refrigerante	revisar si se tienen las cargas								
Válvulas	Fugas, obstrucciones								
Lubricante	Nivelación, fugas								
Temperaturas	Refrigeración								
Temperaturas	Congelación								
Vibraciones	Resonancia								

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 2. Control de mantenimiento correctivo

Tienda

#### Ficha Mantenimiento Correctivo

Determinante de tienda

Díagnostico	Descripción	Fecha	Responsable	tiempo	Servicio externo
Compresores	Fallo de sellos o medidores				
reparación de fugas	daños por desgaste de tubería, etc etc.				

Fuente: elaboración propia.